

地 震

第 2 輯

第 6 卷 第 3 號

昭和 28 年

論 說

SMAC 型強震計	高橋龍太郎.....	1
釜石鑛山における大爆破作業による地震動の観測.....	爆破地震動研究グループ.....	6
重力と地下構造との関係 (I).....	加藤 元彦.....	14
海南島地震小史並びに年表.....	慶松 光雄.....	31

地震時報	42
學會記事	43
ニュース	44

地 震 学 会

地震学会々則

1. 本会は地震およびこれに関連する諸現象の研究並びにその應用に関する知識を交換、普及し震火災防止に貢献することを目的とする。
2. 本会は地震学会と稱して、事務所を東京大学地球物理学教室内におく。
3. 本会はその目的を達するため下記の事業を行う。

- (i) 通常総会および臨時総会 (ii) 學術講演会
(iii) 會誌「地震」の發行 (iv) 其他必要な事業

通常総会は毎年必ず1回適當時期に行い、臨時総会は委員5名以上あるいは會員30名以上の請求のあつた時に開く。総会の成立は普通會員1/5以上の出席(委任状を含む)を要する。

4. 本会々員は名譽會員、普通會員、購読會員、及び贊助會員とする。會員となろうとする者は会費1ヶ年分をそえて本会事務所へ申込むものとする。
5. 地方あるいは特別の機關等に支部をおくことができる。
6. 委員長1名、委員若干名をおく。
7. 委員長は本会を代表し、各委員は編輯、庶務、會計等の事務を分担し、そのために若干名の幹事をおくことが出来る。幹事は委員長が委嘱する。
8. 本会には顧問若干名をおくことができる。
9. 委員は普通會員の互選によつて選出する。委員長は委員の互選による。委員長及び委員の任期は1年とし、再選をさまたげない。
10. 委員及び委員長の更迭期を3月末とする。途中補欠として加つたものの任期は前任者の殘存期間とする。

附 則

1. 普通會員、購読會員の会費は1年400圓とする。
2. 会費年1口(10000圓)以上をおさめたものを贊助會員とする。
3. 支部のないときは連絡幹事をおく。連絡幹事は委員長が委嘱する。
4. 本会則は総会(又は臨時総会)に於て出席會員の過半数の賛成により改訂又は附加することが出来る。

委 員 (1953年3月選出)

委員長 和達清夫

委員 飯田波事(地質調)	萩原尊礼(東大)	早川正己(地質調)	西村英一(京大)
本多弘吉(東北大)	表俊一郎(東大)	和達清夫(中央氣)	金井清(東大)
加藤愛雄(東北大)	河角広(東大)	笠原慶一(東大)	吉山良一(九大)
高橋竜太郎(東大)	田治米鏡二(秋田大)	坪井忠二(東大)	村内必典(科博)
宇佐美竜夫(中央氣)	井上宇胤(中央氣)	松沢武雄(東大)	福富孝治(北大)
浅田敏(東大)	佐野浚一(地質調)	佐々憲三(京大)	鷺坂清信(地震観)
宮村攝三(東大)	宮部直巳(地理調)	水上武(東大)	広野卓藏(中央氣)
末広重二(中央氣)	鈴木次郎(東北大)	[イロハ順]	

庶務係幹事 表俊一郎・村内必典・広野卓藏・末広重二・宇佐美竜夫

會計係幹事 井上宇胤・山口弘次・笠原慶一・松本利松

編輯係幹事 宮村攝三・金井清・安芸敬一

編輯委員会委員 飯田波事・本多弘吉・和達清夫・金井清・河角広・坪井忠二
井上宇胤・松沢武雄・佐々憲三・宮部直巳 [イロハ順] および編集・庶務・會計係幹事代表各1名

顧問 中村左衛門太郎・北沢五郎

SMAC 型 强 震 計

東京大学地震研究所 高 橋 龍 太 郎

(昭和 28 年 5 月 20 日受理)

“SMAC” Strong Motion Accelerometer

By Ryutaro TAKAHASHI

This accelerometer has been designed and constructed by the “Strong Motion Accelerometer Committee,” members of which are Nobuji NASU, Hiroshi KAWASUMI, Takahiro HAGIWARA, Kiyoshi MUTO, Kiyoshi KANAI, Kenzaburo TAKEYAMA, Kazuhiko AKASHI and I. “SMAC” stands for the name of the committee. Expenses were granted from the Fund for the Experimental Researches of the Education Department.

The merits of the present accelerometer lie in that it has been very carefully constructed so as it can record faithfully the acceleration of earthquakes as large as 1000 gals, and also in that it has large recording speed and a special device to record automatically two more after-shocks which would follow the main one. Easiness of maintenance is another merit; the investigation by an expert once a year and care taken by a watchman once or twice a month are all that is necessary.

It starts automatically to record earthquakes greater than 10 gals, stops recording automatically after a 3-minute running, and repeats this start-and-stop motion for successive three earthquakes. It has a mechanical starter besides an electric one. Record is made by scratching a roll of stylus paper by a sapphire needle. We can obtain by this means a very sharp record, which enables us direct printing on to photographic paper, or photographic enlarging up to 10 times the original.

It has also a special equipment for inspecting the action of the instrument.

Essentials of the accelerometer are as follows:

(A) Accelerometer proper

- 1) Type: 3-component pendulum type accelerometer.
- 2) Proper period: 0.1 sec.
- 3) Sensitivity: 25 gals per mm on the record.
- 4) Magnification: X16, mechanical.
- 5) Recording method: Scratching stylus paper.
- 6) Working Range: 10 to 1000 gals.
- 7) Recording speed: 1 cm/sec.

(B) Driving device

- 1) Type: Hand-wound spring clockwork.
- 2) Action: Starting thrice, 3-minute running for each start.
- 3) Starter: Falling ball starter. (Sensitivity: 100 gals)
- 4) Governor: Centrifugal, instantaneous start.

(C) Time-marker

- 1) Type: Hand-wound clock with electric contact points and electric starter.

- 2) Time mark: every 1 sec.
- (D) Electric starter
 - 1) Type: Vertical accelerometer with period 0.3 sec.
 - 2) Sensitivity: 10 gals.
 - 3) Electric contact points: 6 platinum pts in parallel.
- (E) Electric Source
 - 1) Dry cells: 12 volts.

§1 緒 言 高層建築、アーチダム等と言つた土木や建築の構造物が地震の時に振動するその振巾は単に地震波の一波一波の振巾、周期ばかりでなく、これらの波が伝はつて来る順序と波相互間の位相にも関係する。即ち、地震動が其の総振動時間——又は相当長い部分的振動時間——を一纏めにしてフーリエー分析をして見た時にどんなスペクトルを持つているに係つてゐる。今大きな波動が来て構造物が振動し始めた時に、前の波とは位相が丁度反対の波が来れば構造物は振動を止めてしまふ事を考へれば、此のことは明かになるであらう。

従つて地震の密度又は最大加速度に相当した所謂震力なる静的水平力が加はるとする従来の方法で算定した構造物の変位は必ずしも地震時の構造物の本当の振巾を与えるものではない。同じ最大加速度を持つていても或る地震が或る構造物に及ぼす震力は、他の地震が同じ構造物に及ぼす震力と異なる場合も起りうる。又同じ地震に対してでも構造物の周期が違へば震力も一般には違ふ筈である。

構造物の合理的——従つて亦経済的でもある——耐震設計には上に記した理由から地震動の波形を知ることが是非必要なのである。若し構造物に相当大きな減衰作用があるならば——これは構造物の構造、材料及び基礎の如何によつて、大振巾の振動時には当然考へられる——實際に働く震力は地震の最大加速度から算定した震度よりもずつと小さくなりうる。殊に地震時には構造物の地面との接合の条件が平時とは異つて来ることを考へると、実効震度は益々小さくなる望がある。個々の構造物について此等の事を明かにするためには、構造物の各所が地震時にどんな揺れ方をするかを調べる事が是非必要である。地表の地震動だけ調べたのでは足りないのである。

以上は構造物の基本振動だけを考へた議論であるが、構造物の構造と地震動の周期如何によつては、二次、三次の振動も起ることを考へなければならぬ。此の様な場合に合理的な設計は地震波動と構造物各所の振動状況が判つて始めて出来ることである。

米国においては夙に此の点に着目して、強震の観測が組織的に行われている。カリフォルニア州南部だけで約 50 台の強震計が、各種地盤、各種建物の地下、最上階等に据付けられて居り、既に数回の強震の記録を得、其等が建築物に及ぼす震度の研究をしているのである。

ひるがへつて我国の現状はどうかと言うと、烈震の満足な記録が殆んどない。これは古来幾

多の烈震に見舞はれて散々苦い目を見て来た地震国日本として不思議な事実であるが、要するに烈震——然も其れは思はざる時に来る——を記録するための特別な地震計が少数且つ不完全であつた爲である。殊に烈震乃至強震時の構築物の振動の記録などと言うものは皆無である。

近時我国では高層建築——殊に新型式の——や大堰堤等が盛んに建設され計画される。此等構築物の耐震工法は既に殆んど完成の域にあるということであるが、設計の基礎となる肝腎の震度の根拠が薄弱である。殊に烈震の性質が掴めないために、合理的な設計が出来ない。其のため随分設計上に無駄がある事は当然想像される。敗戦後の日本にとつて甚だ不経済なことを言わねばならない。

此の様な事情から、烈震の記録をとることが強く土木、建築方面から要望されていたところ昭和 26 年度文部省試験研究費を交附された。此の研究費によつて、地震研究所、東大建築学教室、建築研究所、明石製作所が協力して、現在までの知識を寄集めて試作したものが此処に述べる SMAC 型強震計才 1 号である。SMAC とは Strong Motion Accelerometer Committee の略称で、委員会の組織、記事等については別項雑録を参照されたい。

§2 SMAC 型強震計の概要。A 強震計本体 強震計を設計するに当つて、才 1 に考へたことは、どんな型式で、何を記録するかということである。烈震時には地動の振巾は数十厘に達すると考へられるから、此を変位で記録するには余程大型の振子でないと安定な記録がとれない。大型振子は強度其他の構造上、又経済上や設置場所の都合上にも難点が多い。速度地震計は減衰度の測定がむづかしく、波の周期による位相の変化も大きい点に困難がある。構造物の変位振動に直接関係するのは時間の函数としての加速度である。加速度計は取扱が楽であり、且つ変位が小さいから縦振動に対する安定度がよく、記録の忠実性が得易い。唯一の難点は拡大倍率を高くする必要のあることであるが、強震計の場合には十数倍ですむから此は問題にならない。従つて我々は加速度計を採用した。

固有周期としては 0.1 秒を採用した。此以下の短周期の振動は構築物の材料中で吸収され易いし、此以下の短い基本振動周期を有する様な特殊な構築物は少数と考へたからである。一面において固有周期を小さくすると高倍率を要するから色々の困難を生ずる事も考へた。

感度は $1g$ を 4 cm 、即ち記録紙上毎耗 25 gal とした。此は記録を極く細く画くことを考へればよいので、寧ろ感度の小さい方が種々の点で利益がある事を考慮した。記録紙の中が此を定める最も直接の因子となつた。広巾の記録紙は送りにくい。

上記の固有周期、感度であると器械的拡大率は 16 となる。此は挺子及び needle and spring の普通の方法で機械的に行つている。

記録範囲は $10\sim 1000\text{ gal}$ と定めた。下限を 10 gal としたのは、下限が大きすぎると地震を書く回数が少なくなつて、看守者が退屈するからと、成るべく地震の最初から書くことをねら

つたからで、後記の様に此の強震計では記録速度が大きいから、此の程度の地震では波の形は殆んど見えない。上限 1000gal は今までに経験された何れの烈震よりも大きい。強震計の各部の構造は此の大きな加速度下でも其の正当な機能を失はない様に注意して作つてある。此れで、中震から超烈震までを記録することになる。

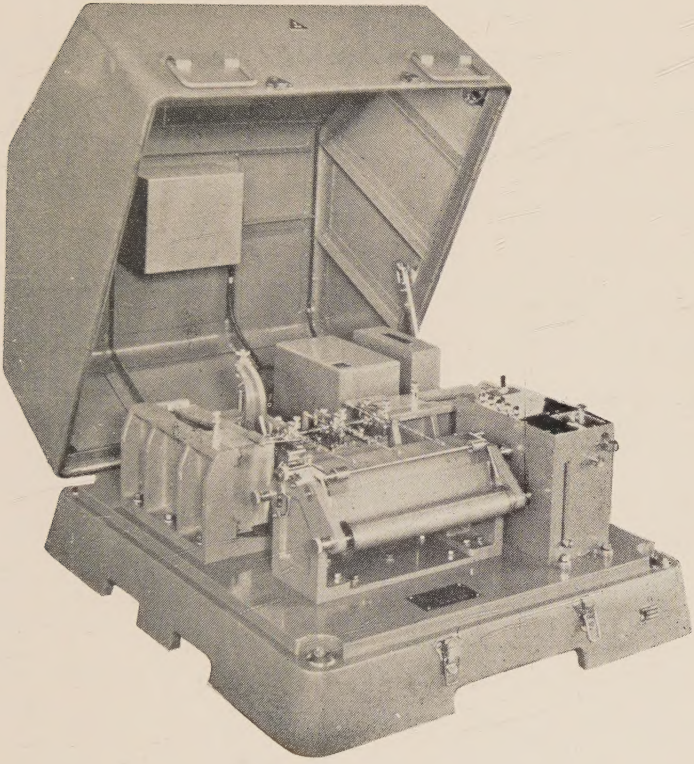
記録方法としては、年に最大数回しか記録する様な強震がないこと、記録速度を後の解析のため早くしたいこと、細く書く必要があること、等を考慮してスタイラス紙引掻式とした。スタイラス紙は透明硫酸紙に着色（赤、紫）金属石鹼を塗附したものである。スタイラス紙の寸法は巾 290mm、長さ 10m で、毎秒 1cm の記録速度で 3 分づつ 3 回の記録に耐へる。スタイラス紙への記録は写真紙へ直接密着焼並に引伸が出来る。ペン先としては蓄音器の 1000 回掛サファイア針を用いる。ペン先が非常に早く動く場合でも記録がかすれぬ爲には 6gr 程度の力でペン先をスタイラス紙に押付ける必要があるが、此れは記録ペンの弾性によつてゐる。此の圧力は加減出来る。此の圧力で大凡 1/20mm 以下の細線が書ける。従つて 10 倍程度の写真引伸しが可能である。ペン先とスタイラス紙間の摩擦に打勝つ爲には重錘は 4kg 程度で充分である。現在の強震計では 4.3kg、全真鍮でクローム渡金をした。耐久の点で鉛はつめない方が宜しいのである。

この重錘をピストンとして利用する空気減衰器を例によつて使用している。減衰率は針バルブによつて任意に調節固定される。

以上の様な振子の略同型のものをお互に直角に配列して三成分とした。但し上下動成分では挺子を一段多く、且つエリクソールの蔓巻吊バネを用いている。

B 原動器 原動器としては手捲全舞動方式を用いている。市販交流は大地震のとき停電するから用いられない。全舞は二丁とし、全速で 10 分以上連続運転が出来る。此の原動器には落球式の始動装置（感度 100gal）が附属してゐて、別に述べる電気式繰返始動器が万一故障した場合でも、地震動の加速度が 100gal を越せば記録紙を送り始める様になつてゐる。

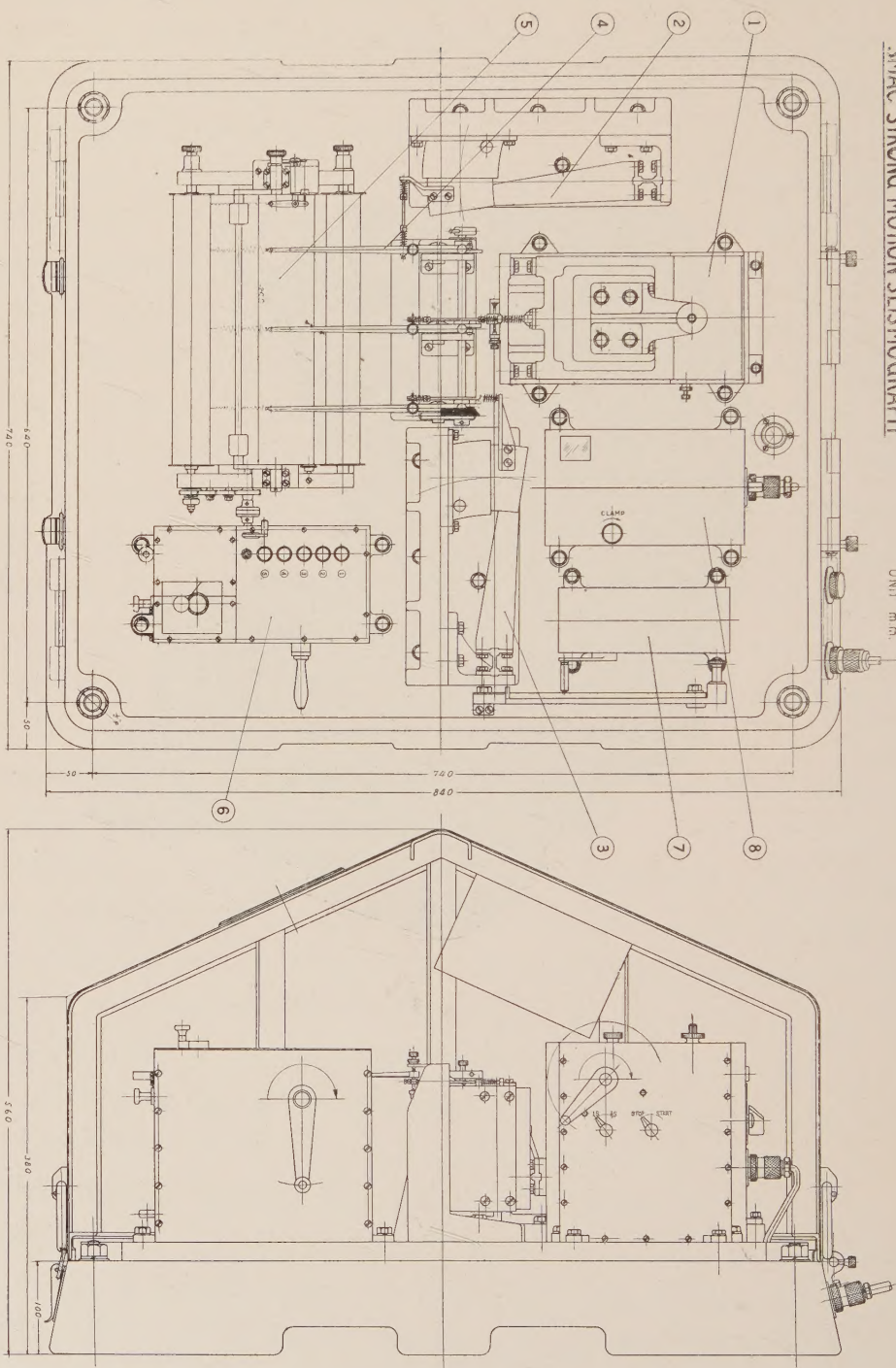
直径 2mm の小盃上に乗つた径 2cm の鋼球が地震動で落下すると小盃を有する挺子の一端が軽くなるので、才二の重錘を支へている掛金が脱れて才 2 重錘が落下する。此の落錘の衝撃によつて歯車止を脱し、又同時にガバナーを蹴り、一これは紙送りを即動させるため一又刻時（1 秒）電接時計始動用電磁石に瞬間電流を通じる。原動器は電磁石と挺子の作用により、電気式始動器からの信号によつても上記歯車止を脱す事以下を行うが、運転中は此の信号に感じない様になつてゐる。原動器は一旦運転を始めると 3 分間運転の後、落球の外は凡て又始めの状態に自動的に戻つて停止する。（試作才 1 号器のみは落球 3 箇を具へ、才 1 球の落下後は運転停止と同時に才 2 球が落下の準備完了の状態に入る。以下同様となつてゐるが、機構が多少複雑なので、才 2 号器以下は落球は 1 箇とした。）



第一圖 SMAC 型 強 震 計

SMAC STRONG-MOTION SEISMOGRAPH

UNIT: mm



- ① VERTICAL COMPONENT
- ② NORTH-SOUTH COMPONENT
- ③ EAST-WEST COMPONENT
- ④ RECORDING PEN

上下動素子
 正交動素子
 東西動素子
 記録ペン

- ⑤ RECORDING TABLE
- ⑥ DRIVING MECHANISM
- ⑦ TIME MARKING SYSTEM
- ⑧ ELECTRIC SELF-STARTER

記録台
 駆動装置
 時刻装置
 電気式自動始動

若し此の後電気式始動器から信号があれば再び3分間の運転をして自動的に停止する。以下何度でも全舞のある限り（普通3回）同じ事を繰返す。此の機能は大地震の時には直に器械の所へ行つて記録紙の取換や全舞捲や其他の世話が出来ない事情が生じ易いの、相当大きな余震が次々と起ることを考へ、此の余震をも記録しようとした結果考案されたのである。

C 刻時装置 電気始動装置の外はありふれた電接時計である。

D 電気式始動器 此れは原動器に始動信号を送るもので、原理は固有周期 0.3 秒の上下動地震計の記録ペン先に当る部分に白金の電気接点を上面3箇、下面3箇並列につけたものである。固有周期を0.3にしたのは感度を多小大きくするため（感度は上動、下動共 10gal）と初期微動の周期に合すためで、成る可く早く始動させるため、上下動地震計とした。然し此の爲温度変化によつて始動感度が上動、下動で変る虞があるので、平板バネ及び蔓巻吊バネはエリンバール製にした。感度は 10gal に相当する小重錘を拡大挺の支点の前後に乗せて、それで丁度信号が出る様に接点間隔を別別に調節する。接点の並列は万一一つが不良になつても他で働く目的である。尙始動器内にリレーを具へ、原動器の運転中は接点に電流が流れない様にし、且つ原動器への信号を伸繼する。電気式始動器は本体から取はづして任意の処へ据付け、その振動で強震計を始動させたり、又数個の強震計を只一箇の始動器で始動させたりしうる。

E 電源 始動用として平角二号乾電池 8 箇を用いる。此は強震計蓋につけたポケット中に格納される。又照明用としては市販交流を用いる。

F 蓋 大地震の際には天井の壁土や棚のものなど落下して来ることがあることを考慮して非常に丈夫な蓋が附けてある。

以上の諸部分の配置、寸法、外観等は才1図及び才2図の写真で見ることが出来る。保守については年1回技術員による巡回手入、月1~2回管理人による点検を要する程度で、殆んど自動的に言つてよい程手数のかからない事が大きな特徴である。

又此の強震計には、機械の動作点検装置があつて容易に何時でも点検が行へることも一特徴であらう。

据附は埋込ボルト4本によつてコンクリート台に固着する。

結 語 我々は此の強震計によつて、強震をのがさず完全に記録することが出来ると思つてゐる。然し強震、烈震の起る回数は比較的稀なのであるから、此の強震計が早く日本全国に且つ色々の地盤の色々の建築物の、色々の階に据付けられ、各種の条件の下での強震の記録が早く得られ、延いては合理的、経済的な各種構築物の耐震法構造が格段の進歩を遂げることを望む次第である。

釜石鉱山における大爆破作業による地震動の観測

爆破地震動研究グループ*

(1953 年 6 月 30 日受理)

Observations of Seismic Waves from the First Great Explosion at Kamaishi Mine.

The Research Group for Explosion Seismology, Japan

At 03h 35m oos, 7th of December 1952, 29.7 tons of dynamite were exploded at Kamaishi mine, located about 15km west of the city of Kamaishi, Iwate-ken. This explosion was a good opportunity for us to ascertain the results obtained from the observations of the seismic waves caused by the great explosions which took place at Isibuti for 3 times.

13 and 6 observation points were spread as southern and western profiles for about 500 km and 200km length respectively. The velocities of P-wave were calculated as 6.19km/sec, 7.37 km/sec and 8.20km/sec from the travel-time curves obtained by the observations of southern profile. The 1st value seems to correspond to that of the 3rd layer in Isibuti's case. The 3rd is what has never been observed in Japan, while similar values have often been observed in other regions from the explosion seismic waves. The 2nd value, 7.37km/sec is to be examined in the next opportunity. The depth of the boundaries of the layers in which P wave travels with the velocities given above were calculated as 27.7km and 32.3km respectively.

The velocity of P-wave obtained from the travel-time curve of the western profile was 5.76km/sec, which is quite the same with that obtained from the western profile of the 2nd Isibuti explosion. This fact suggests that the thickness of the layer of these regions becomes thinner towards east.

§ 1 ま え が き

種々の目的で行われる大爆破作業の機会を利用して、それに伴つて生ずる地震動を観測するという方法は、その観測目的に応じた十分の計劃性をもつた観測網をおきうることや地震波速度の測定に十分の精度を期しうる点などの利点があり、地球物理学上有力な研究手段として最近諸外国で特に活潑に行われ始め、夫々興味ある結果をもたらしつつある。我国でも、おくれはせながら、昭和 25 年 10 月 25 日に、岩手県水沢町の西方 20km にある石淵で、石塊堰提工事のための多量の採石を目的として行われた 57 トンの火薬による大爆破作業の機会をきつかけとして、爆破地震動研究グループが生まれ、以後同箇所で行われた計 3 回に及ぶ爆破作業による地震動の観測を行つてきた。そしてそれらの結果は夫々の機会に随時発表されている¹⁾

この石淵における爆破作業について、今回（昭和 27 年 12 月 7 日 03 時 35 分 00 秒）岩手県上閉伊郡釜石市の西方約 15km の仙人峠にある釜石鉱山で、約 30 トンのダイナマイトによる大爆破作業が、日鉄鉱業釜石鉱業所の手によつて行われた。

この鉱山は、2000 万トン以上の埋蔵量をもつと云われる鉄鉱山であるが、戦時中の過激な採鉱の結果、鉱床が傷み、戦後落盤の危険が感ぜられていたのであるが、昭和 26 年 3 月、ついに 500 万立方米、1500 万トンに及ぶ落盤があり、そのため出鉱停止となり、その後 5 月から 12 月迄は、Strain gauge を入れて鉱柱の歪みを調べたり、Microphone で岩の割れる音をきいたりし乍ら、極めて危険な状態の下で採鉱をつづけて来たもので、早くから爆破作業によつて危険な鉱床を一気に落して、不慮の落盤による災害発生を防止する必要性が云われていたのであつた。そして今度の大爆破作業は、その鉱床の北方部分を一気におとすためになされた才一回目の作業であり、29.7 トンの新桐ダイナマイトを用い 5 段の 25 ミリ秒コンド雷管によつて行われた。

この爆破作業によつて生ずる地震動を観測することは、爆破地点が前の石淵爆破と同様東北地方であり、しかもその上に、前回の東方測線上にのつている、と云う点からみて、前三回の石淵における爆破による地震動をその都度観測して、東北地方の地下構造の調査をすゝめて来た我々グループにとつては、それらの結果に或いはより一層の確からしさを与え、或いは又未解決の点に新しい観測事実をつけ加えうる可能性が予想出来る点などからみて、逃すことの出来ない好機会であり、我々は早速才 1 表及び才 1 図で示される様な、計 19 の観測点を、爆破点の南方及び西方に張つて、この大爆破による地震動の観測を行つた。

§ 2 観 測

観測に用いた地震計は才 1 表でも分る通り、殆んどが今迄通り我々研究グループが特にこの種の地震動観測のために製作整備して来た固有周期 3 \sim の電磁型地震計であり、之に固有周期 10 \sim のもの、又地質調査所及び京大所属の天々 20 \sim 、15 \sim の電磁式のものを併用し、何れも専用増巾器を用いて増巾し、オシロ紙に記録した。記録紙の送りは爆破点で毎秒 10 cm、他は近い点では毎秒 4 cm、遠いところで 1 cm 位であ

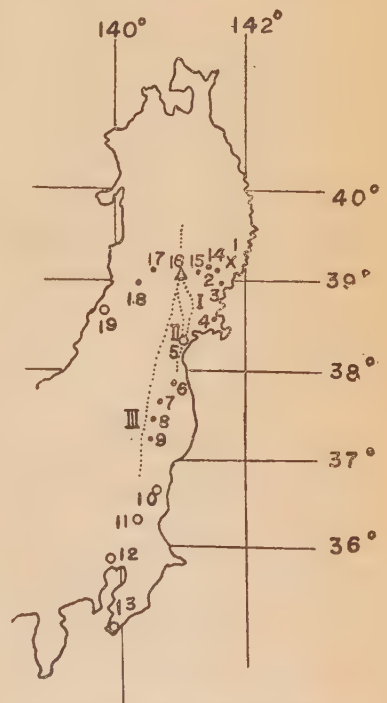


Fig.1. Seismic Stations of the First Kamaisi Explosion of Dec. 7, 1952.

Table. 1

	Station	λ	ζ	h	Δ	Seismometer	Observers
Southern Profile	1 Shot point	141°41'48.7'' E	39°17'36.7'' N		0km	20V 12	Kaneko Furuya
	2 Setamai	32'46.3''	09'07.8''	180	20.4	10V1, 10H1	Asano Sato
	3 Kesenuma	34'25.8''	38°53'55.0''	35	45.5	10V1, 10H1	Matsumoto(T) Hayatsu
	4 Onagawa	27'26.6''	26'14.7''	20	97.3	3V1, 3H1	Noritomi Takagi, Kosaka
	5 Mukaiyama	140°49'07''	14'36''	130	140.0	3V1, 3H1	Yoshiyama, Shima Nakamura
	6 Kanayama	47'50.6''	37°53'42.8''	80	173.7	3V2, 3H1	Murauchi, Honda Asanuma
	7 Kawamata	36'46.5''	40'49.2''	260	202.3	3V2, 3H1	Kobayashi(Naokichi) Hagihara
	8 Shiroyiwa	28'52.4''	29'29.8''	340	226.5	3V1, 3H2	Suzuki (J) Mine
	9 Nogizawa	25'17.8''	10'08.9''	180	261.1	3V2, 3H1	Yamazaki Kobayashi (Naota)
	10 Hitachi	36'06.4''	36°37'33.4''	374	311.6	2V1	Tanaka Suzuki (T)
	11 Tsukuba	06'40.4''	12'36.0''	280	369.9	3V1	Kasahara Chujo
	12 Tokyo	36'53.0''	35°36'11.0''	6	445.0	3V1	Tateishi Suzuki
	13 Kanbe	139°50'36.8''	34°56'24.6''	20	510.1	3V2, 1H1	Den, Mogi Hasaba
Western Profile	14 Ide	141°17'48.3'' E	39°10'27.0''	m	km	3V1, 3H1	Akima Tsujiura
	15 Mizusawa	08'10.6''	07'56.7''	61	51.4	10V1, 1H1	Sakai, Sugawa Usami
	16 Ishibuchi	140°54'28.3''	06'43.8''	300	70.8	3V1, 3H1	Utsu Ogawa
	17 Yuzawa	30'29.7''	09'35.7''	120	103.3	15V6, 2H3	Tamaki Okano
	18 Mamurogawa	17'12.8''	38°51'58.2''	100	130.5	3V2,	Shima, Shibano Yanagisawa
	19 Tagawa	139°38'36.00''	39'00''	40	195.0	3V1, 3H1	Yamashita Tajime

る。タイムの記録も従来通り4メガ及び8メガの J. J. Y. の秒時報の受信による他に、今回は爆破予定時刻が午前3時であつたのを幸いに、特に NHK にお願ひし、技術部の加藤倉吉氏と同部長の御好意と御尽力とによつて、爆破時刻を中心とした前後20分間に亘り、J. J. Y. が中波によつて放送される一方、爆破時刻の予定変更その他の重大な連絡もこの放送で各観測点に伝えられることになつたのであるが、実はこの中波放送が、結果としては今回の観測を全面的な失敗から次の様な理由で救つてくれたのである。即ち、爆破の当日になつて各観測陣共 J. J. Y. の短波の受信が一齊に不能になつてしまつたこと、又爆破の予定時刻であつた03時05分00秒が、その僅か20分前になつて急に03時35分00秒に変更されたことがこの中波放送で各観測陣に誤りなくつたえられたことである。この点、NHK 当局が今回の我々の観測のために特によせられた御好意に対しては、こゝに深い感謝を捧げたい。

§ 3 観測結果

$$\text{III.} \quad \eta = \frac{\Delta}{8.20 \pm 0.10} + (7.06 \pm 0.40)$$

Table. 2. Shot time 03h34^m59.^s91

	Station	P ₁	P ₂	P ₃	S (°)
Southern profile	1				
	2	^m ₃₅ ^s _{03.51}			^s _{06.08}
	3	07.63			
	4	15.77			
	6	28.32	^s _{28.32}	^s _{28.32}	49.45
	7		^s _{32.21}	^s _{31.75}	50.40
	8		^s _{35.64}	^s _{34.52}	
	9		^s _{40.13}	^s _{39.00}	71.38
Western profile	14	^s _{06.30}			^s _{10.9}
	15	09.00			15.0
	17	18.00			30.79
	18	22.57			

となる。之等の式を導くに當つて用いた走時点は、西方測線の場合とも合わせて才2表に示されている²⁾。

先づⅠは $V_p=6.19$ km/sec の層の存在を示しているのであるが、之はこの直線上に極めてよくのつてゐる点のウェイトから考えて見てもまづ問題はないと考えられ、又この $V_p=6.19$ km/sec なる値をもつ層は、前の三回に亘る石淵爆破の結果を綜合してえられた才3層に相当するものと考えられる。参考のため石淵爆破の時の南方測線の位置を示すと才1図の如くであり、各回数毎に夫々Ⅰ、Ⅱ、

Ⅲの点線で示してある。そして之等の測線から測定えられた V_p は夫々 6.13km/sec, 5.91km/sec 及び 5.98km/sec である。

次にⅢの式は $V_p=8.20$ km/sec の層の存在を示しているのであるが、この程度の V_p をもつ層は、米国や欧州に於てはやはり爆破地震動の観測からたびたび出されていたが、日本ではまだ見出されていなかったものである。又一方ではⅡで示される様な、 $V_p=7.37$ km/sec の層を示す直線も引きうることから、このⅡとⅢの何れがより確からしいか、或いは又、このⅡとⅢで示される層の共存が許せるだろうか、という様な点について、グループ内でもかなり活潑な討論が行われたのであつた。自然地震に関する今までの結果、或いは又、石淵の3回目で一応 7.17km/sec なる V_p の直が出てゐること、又今回の走時点を見ても、Ⅱについてもかなりの確かさが考えられること等から、仲々捨て難い点もあり、さりとてⅢの方は、初動として⑦、⑧、⑨点と何れもかなり明瞭に記録されている点から推して、之は到底する訳にはゆかない様に思われ、仲々難しいところであるが、結局、以上Ⅰ、Ⅱ、Ⅲのうち、ⅠとⅢは確實、Ⅱも少くとも今回の観測結果だけから見れば捨て得ないものではあるが、尙次回の結果を必要とすると云う点で一応の一致をみたのである。

之等の3つの式から、夫々の層の厚さを求めて見ると、次の通りになる。

$$Z_{12}=(27.2\pm 3.0) \text{ km}$$

$$Z_{23}=(5.1\pm 3.3) \text{ km}$$

$$Z_{13}=(32.3\pm 1.3) \text{ km}$$

$V_p=6.19$ km/sec の層の上におそらく存在するであろう地層については、今回は爆破点近傍に観測点を設けなかつた為、その走時を見出すことは出来なかつたけれ共、Ⅰの intercept

time が (0.21 ± 0.07) 秒である点を考えると、うすい層の存在が予想されるが、おそらくこの地層は、石淵爆破の観測結果からえられた $V_p = 2.56 \text{ km/sec}$ の層が、この辺までうすくなつてつゞいているものと考えられる。

尙⑥, ⑦, ⑨の三地点でつくられた才2図の点線は、 4.1 km/sec の速度を示しているが、S波の速度としてはやや大きすぎる様である。

b) 西方測線

才2図で、アンダーラインで示された番號の測点からつくられた実直線が、西方測線からえられたP波の走時を示す直線である。最小自乗法でこの直線の式を求めると

$$0.35^{\text{h}} + t = \frac{\Delta}{(5.76 \pm 0.05)} + (-0.02 \pm 0.10)$$

となり、 $V_p = 5.76 \text{ km/sec}$ の速度が示される。

西方測線の方は、十分測線を伸ばしえなかつたので、この層の厚さは走時から求めえないけれ共、この V_p の値は、石淵の才2回目の観測の際えられた同じ西方測線による $V_p = 5.78 \text{ km/sec}$ と極めてよく合っており、このことは、石淵の場合を総合して一応得られたこの附近の東西方向における地殻構造の姿、即ち石淵附近での厚さ 750m 位の $V_p = 2.56 \text{ km/sec}$ の表面層が約 $36'$ 位の傾きで東にゆくにつれてうすくなる様に傾いており（之はこの層が green tuff と考えることによつて、地質学的にもうなづける点である）、その下に、この傾きとほぼ平行

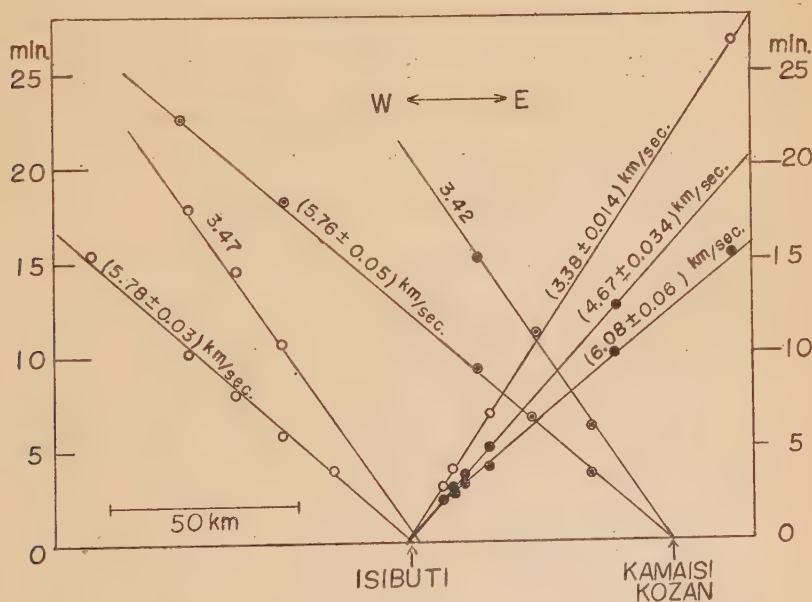


Fig. 3. Hodographs of the E-W profile of north-eastern Japan from the seismic data of the explosions of Isibuti and Kamaishi.

に、極めてうすい $V_p=4.76\text{km/sec}$ の層があり、その下に、南方測線で 6km/sec 内外の V_p の値を示した層が存在する。と云う構造を、更に確めたことになると思われるのである³⁾。

尙才2図で、 $\Delta < 100\text{km}$ の部分において点線で引かれた直線は、西方測線からえられたもう一本の走時を示す直線で、之は図の上から約 3.4km/sec になり一応S波の速度ではないかと考えられる。

才3図に、石淵の場合と今度の場合の東西方向の測線からえられた走時曲線を合せ示してある。

§ 6 結 び

結局、今回の釜石鉾山における第1回の爆破による地震動の観測は、始めにも述べた様に石淵の場合とは異なつた爆破機構のため予想外に地震動への効目が弱く、解析に用いた記録の数が十分でなかつた為に、その確認を次回にまたねばならない1, 2の点を残したのは残念であるが、それでも、南方測線の結果からは、石淵の場合の才三層に当る層内でのP波の速度が、前回よりはやく大きく出たと云うこと、 8km/sec 程度の V_p をもつ層を、 32km 内外の深さの場所に見出したと云うこと、西方測線からは、石淵の場合からえた東西測線上からの結果を更に確めたと云う点などが注目すべき結果だと云えるであろう。

謝 辞

今回の観測は日鉄鉾業釜石鉾業所が実施した長坑発破に際して行われたものであるが、この発破は同鉾業所としても初めての試みである大発破であつたので爆破準備の現場作業は極めて多事多端であつたのにも拘わらず今井鉾業所長始め同鉾業所各位が我々の観測の学問的意義を理解せられ我々の観測の遂行に多大の便宜を与え、あらゆる協力を惜しまれなかつたことに對し爆破地震動研究グループ一同心より厚く感謝の意を表したい。

この観測を行うにあつて、観測材器並びに人員の輸送に對して種々の便を与えられたまわつた国鉄盛岡鉄道管理局、建設省東北地方建設局、又各観測点間の通信連絡上に多大の便宜をた NHK 技術部、盛岡及び釜石電話局、甲子郵便局、又我々の観測に多大の御援助を与えられた盛岡縣庁、東北電力、並びに各観測点の関係各位に對しては、こゝに厚く御礼申し上げる次才である。更に、我々の共同研究に對し、終始激励と指導とを与えられた松沢教授に、心からの感謝を表したい。

尙、この研究は、文部省科学研究費によるものであることを附記しておく。

* この観測に關与した研究グループのメンバーは次の通りである。(ABC 順)

秋間哲夫、河角広、笠原慶一、小林直吉、松本利松、宮村摂三、表俊一郎、嶋 悦三、柴野睦郎、田中貞二、鈴木富三郎、辻浦 賢、山崎良雄、柳沢馬住、(以上東大地震研究所); 浅田 敏、田望、長谷場徹也、早津昭男、小林直太、松沢武雄、茂木清夫、佐藤良輔 (以上東大地球物理学教

室); 小川辰郎, 宇佐美竜夫, 宇津徳治, 酒井乙彦 (以上中央気象台地震課); 早川正己, 古谷重政, 金子徹一, 鈴木 実, 立石哲夫 (以上地質調査所); 嶺永 治, 中村公平, 乗富一雄 小坂由須人 鈴木次郎, 島 坦, 高木章雄 (以上東北大学地球物理学教室); 浅沼俊夫, 本多俊一, 村内必典 (以上科学博物館); 岡野健之助 玉城逸夫 (以上京大地球物理学教室); 吉山良一 (九大物理学教室); 田治米鏡二, 山下四郎 (以上秋田大学鉱山学部); 須川 力 (水沢緯度観測所)

- 1) 爆破地震動研究グループ会報 No. 1, 2, 3, 4, 5 「地震」第3巻, 第2号, 昭和26年

地震研究所イ報第29号, 第1冊 (昭和26年)

〃 30号, 第3冊 (〃 27年)

総合的な報告としては

「自然」11月号, (1952年)

「地球科学」. 7. (1952年)

- 2) 最小自乗法から直線を求めるのに, ある点を入れると入れないとで, 結果にどの程度の違いが生ずるかを当つて見た。例えば上のⅠ, Ⅱ, Ⅲに於て, ⑥と云う観測点の走時点を除いて計算すると,

$$\text{Ⅰ式は } 0.3h35m+t=\frac{\Delta}{6.29\pm0.04}+(0.\pm0.07). \quad \text{Ⅱ式は } \frac{\Delta}{7.44\pm0.12}+(5.10\pm0.52)$$

$$\text{Ⅲ式は } \frac{\Delta}{(8.08\pm0.17)}+(6.65\pm0.62) \text{ となり, 速度も, intercept time も共に若干変るが,}$$

其等の確率誤差はこの場合には共にやゝ大きくなる。

- 3) 我々が今までに得た観測上の資料と, 地質学上から判つている事実とを総合すると, 上の様な地殻構造を考えることが, 少くとも現在の階段では最も自然だと云うだけの意味である。

重力と地下構造との関係 (I)

地殻物質密度の分布と重力との関係

帝国石油株式会社 加 藤 元 彦

On the Relations between Gravity and Subterranean Structure (I)

Relations between gravity and distribution of density of subterranean matters

Motohiko KATO (Teikoku Oil Co.)

The author assumes a model in which the density of subterranean matters is distributed as shown by the formula (8). This formula satisfies the two conditions, the one being the formula (1) which defines the variation of the mean density with respect to depth, and the other the formula (6) which does the distribution of density on a subterranean plane at any depth.

If the gravity and the density on the earth surface are given by (10) and (5), then the coefficients C_m in (8) take the forms (12).

In the case of prospecting, most probable values for the coefficients of the rate of change of density with depth will be $\lambda = 0.5 \times 10^{-5}$ C.G.S. and $\lambda_m = \lambda$ or α_m . Putting $\lambda_m = \alpha_m$, this model produces a subterranean structure which is consistent with that inferred by seismic method.

He also discusses the relations between the residual gravity (g') and the regional gravity (g'').

§ 1 緒 論(註1)

地殻を構成する物質の密度分布を地表の重力の値から決定する事は、地球物理学上からも地下資源探査の面からも非常に重要な問題であるが、地表の重力の値のみからこれを一義的に決定する事は原理的に不可能である。然し密度分布の仕方に或る条件を附ければ、換言すれば適当な**密度分布の模型**を想定するならば、重力の値から地殻の密度分布を決定する事が出来る。

その最も初等的な方法として地下の物質を球とか無限円筒とかの簡単な物体(模型)と見做して推定する方法であるが、これは少し複雑な模型になると到底応用が出来ない。

二次元の問題を解釈するには地下構造の断面(模型)を適当に想定してその重力を逆に算出し、実測値と最も良く合う様に想定断面の形や密度を色々と変へる所謂 trial and error の方法(間接法という)がある。これは一般に最も良く用いられる方法であつて、その為地下密度分布の模型から重力を算出する方法は昔から多くの人々によつて案出されている(註2)。三次元に分布した密度を決定する問題も往々にして二次元の問題に変へてこの方法を利用している。然しこの方法は各構成物質の分布の形や密度に或る不確定性があるので、一つの解が出たからと云つてそれが最も確からしい解答であるとは云へない。夫故地下構造が概ね判つている場合に用いて有効である。

地下構造が未知でその想定が難しい時は、地表の重力から直接地下密度分布を算出する方法（直接法という）が用いられる^(註 3)。これはいづれも地下物質が或る深さの平面又は球面に凝縮されていると仮定して計算されるものであつて、深さに比して非常に長い構造である場合は兎に角として、地下資源探査に於ける様な小さい重力異常を一平面に凝縮して解釈する事は不適當であるから、主として地球物理学的見地から重力を解釈する際に用いられる。この場合でもその凝縮面の深さを何所に採るか、どの程度の大きさ迄の重力異常を考慮するかに不確実性があり、且つ凝縮面は有限個しか採れないので地下或る深さまでの密度分布を連続的に知る事は不可能である。

筆者はこの直接法の欠点を補う為に凝縮面が連続的に存在し、且つ各深さの面に分布する密度はそれに依つて生ずる重力異常の変化の波長及び面の深さに応じた適当な重味 (Weight) があると仮定して、地下物質密度の連続的分布を計算し且つその結果が実際の地下構造と良く一致している事を本論文に示さうと思う。即ち先づ地下の一水平面内の平均密度は深さにつれて指数函数的に大きくなり一定の値に近づく事及び重力異常の波長に応じた重味も指数函数的に変ると仮定した。この平均密度の変化や重味の vari 方は重力以外の物理的条件或は地質学的考察からも或る程度決定出来るものである。この重味の付け方は一地区のみに特有な方法ではなく、一般の地区でも共通である事が以下述べる二、三の実例で予想せられるので、この模型を使つて多くの場合の問題を解く事が出来るであらう。

本稿の目的である地下資源探査の面から問題となる小さな重力異常のみでなく、地球物理学的に考へられる広域の重力異常に対してもこの模型は有効に用いる事が出来る。又この模型において重要な常数である密度変化係数は均衡異常と関係づけて考へる事が出来るので地球物理学的考察も必要であるが、これは別稿において論ずる事にしてこゝでは省略する^(註 4)。

以下問題を簡単にする為に二次元の場合を考へる。即ち地表面内に X, Y 軸、鉛直下方に Z 軸を採つた右手座標系を用い、 Y 軸方向には凡ての量は変化しないとする。

§ 2 密度分布の假定

多くの石油井の岩芯の比重の測定の結果から、或る深さ z における一水平面内の地殻物質の密度の平均値 $\bar{\rho}$ は、深さにつれて指数函数的に変化して深くなる程一定の値 ρ_t に近づいて来る事が判る。即ち地表面の物質の平均密度を $\bar{\rho}_0$ とすると、平均密度 $\bar{\rho}$ は

$$\bar{\rho} = \bar{\rho}_0 + (1 - e^{-\lambda z}) (\rho_t - \bar{\rho}_0) \quad (1)$$

で多くの場合充分な近似で表はされる。多くの実測値^(註 5)から $\bar{\rho}_0$, ρ_t 及び密度変化係数 λ を

$$\left. \begin{aligned} \bar{\rho}_0 &= 1.750 (\text{C.G.S.}), \quad \rho_t = 2.700 (\text{C.G.S.}) \\ \lambda &= 0.5 \times 10^{-5} (\text{C.G.S.}), \\ L &= \frac{2\pi}{\lambda} = 12.57 \text{ km} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

第1表 平均密度 $\bar{\rho}$ (C.G.S.)

深さ (m)	$\bar{\rho}$	深さ (km)	$\bar{\rho}$
0	1.750	0	1.750
100	1.796	1	2.124
200	1.840	2	2.350
300	1.882	3	2.488
400	1.922	4	2.571
500	1.960	5	2.622
600	1.996	6	2.653
700	2.031	7	2.671
800	2.063	8	2.683
900	2.094	9	2.689
1000	2.124	10	2.694
1100	2.152	11	2.696
1200	2.179	12	2.698
1300	2.204	13	2.699
1400	2.228	14	2.699
1500	2.251	15	2.699
1600	2.273	16	2.700
1700	2.294	17	2.700
1800	2.314	18	2.700
1900	2.333	19	2.700
2000	2.350	20	2.700

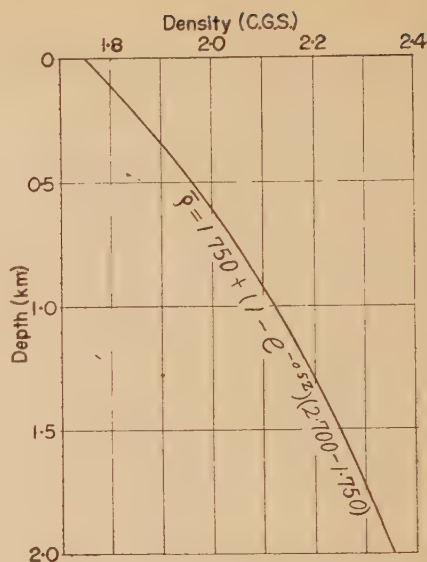


Fig.1. Assumed mean density.

となる。(1)式にこの値を用いて計算した値を第1表及び第1図に示した。これらの常数(2)を決定した資料は深さが高々 2000m 迄で

あるが、それより深い花崗岩層と考へられる所の値も良くその密度と一致している。地下資源探査上の問題で密度差 $\Delta\rho$ を考へる限りは、 λ は重要な常数であるが、 $\bar{\rho}_n$, ρ_t の絶対値は知る必要はなくその差のみ判れば良い。

重力の potential を U として二次元の Laplace の式:

$$\Delta U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0 \quad (3)$$

の解の内、 $z \rightarrow -\infty$ で $U \rightarrow 0$ となる解を選べば

$$U = \sum A_m e^{\frac{a_m z}{\sin a_m x} \cos a_m x}$$

となる。これを z で微分すると重力 g は

$$g = \frac{\partial U}{\partial z} = \sum a_m A_m e^{\frac{a_m z}{\sin a_m x} \cos a_m x} \quad (4)$$

となる。 A_m , a_m は境界条件で決まる係数で、各項の表はす波表を l とすると $a_m = 2\pi/l$ である。

密度分布の x についての変化も重力 g と同じ形の Fourier 級数で表はされると仮定し、地表面 $z=0$ の密度分布を

$$\rho_0 = D_0 + \sum D_m \frac{\cos}{\sin} a_m x \quad (5)$$

とし ($D_0 = \bar{\rho}_0$)、深さ z の水平面内の密度分布は

$$\rho = \bar{\rho} + (1 - e^{-\lambda_m z}) \sum e^{-\lambda_m z} C_m \frac{\cos}{\sin} a_m x \quad (6)$$

と表はす事にする。この式中の因数 $\{1 - \exp(-\lambda_m z)\}$ は (1) 式と同じものにした。これは同一水平面内の密度変化の様子即ち振巾が、深さが深い程大きくなり遂に一定の状態になる事を示し、因数 $\exp(-\lambda_m z)$ はその密度の振巾の深さによる変化が夫々の m 即ち波長について異なる仕方であつて行く事を示すものである。密度変化係数 λ_m が負ならばこの振巾は深さがくなる程指数函数的に大きくなり遂に無限大になるので $\lambda_m \geq 0$ と考へなければ不合理である。

密度変化係数 λ_m は適当に決めるべき量であるが、これが深さによつて変らない正の常数とすると、密度の振巾 C_m にかゝる係数 $\{1 - \exp(-\lambda_m z)\} \exp(-\lambda_m z)$ は或る深さで最大になりその深さ $Z(\max)$ はこれを z で微分したものを 0 に等しいとして

$$Z(\max) = \frac{1}{\lambda} \log \left\{ 1 + \frac{\lambda}{\lambda_m} \right\} \quad (7)$$

となる。今 λ_m が構造の波長 l に反比例し然も $\lambda_m = 2\pi/l = a_m$ である場合の値を示すと第 2 表のようになる。波長の長い構造程深い所にその振巾の最大になる所があり、地下資源探査の場合の如く波長が 20km 以下の短いものはその深さが 2000m 以内にある。第 3 表には $\lambda_m = 0$, λ , a_m の場合の $\{1 - \exp(-\lambda_m z)\} \exp(-\lambda_m z)$ 及び $Z(\max)$ の値を挙げた。

第 2 表 $Z(\max)$ の値 ($\lambda_m = a_m$ の時)

l (km)	$Z(\max)$ (km)	$l/Z(\max)$	l (km)	$Z(\max)$ (km)	$l/Z(\max)$
1.0	0.15	6.53	24	2.14	11.23
1.5	0.23	6.65	32	2.53	12.64
2	0.30	6.77	48	3.15	15.26
3	0.43	7.01	64	3.61	17.71
4	0.55	7.24	96	4.31	22.3
6	0.78	7.69	128	4.83	26.5
8	0.99	8.12	192	5.58	34.4
12	1.34	8.95	256	6.12	41.8
16	1.64	9.74	384	6.90	55.6

第 3 表 $(1 - e^{-\lambda_m z}) e^{-\lambda_m z}$ の値

λ_m	l (km)	z 深さ (m)				$Z(\max)$ (km)
		100	500	1000	1500	
0		0.049	0.221	0.393	0.528	∞
λ		0.046	0.172	0.239	0.249	1.38
a_m	0.5	0.014				
	0.6	0.017	0.001			
	0.8	0.022	0.004			
	1.0	0.026	0.010	0.001		0.15
	1.5	0.032	0.027	0.006	0.001	0.23
	2.0	0.036	0.046	0.017	0.005	0.30
	3.0	0.040	0.078	0.048	0.023	0.43
	4.0	0.042	0.101	0.082	0.050	0.55
	6.0	0.044	0.131	0.138	0.110	0.78
	12.0	0.046	0.170	0.233	0.241	1.34
	∞	0.049	0.221	0.393	0.528	∞

(1), (5), (6) 式を考慮して密度分布を表はす式を作れば

$$\rho = D_0 + \sum D_m \frac{\cos}{\sin} a_m x + (1 - e^{-\lambda_m z})$$

$$(\rho_t - D_0 - \sum D_m \frac{\cos}{\sin} a_m x)$$

$$+(1-e^{-\lambda z})\sum e^{-\lambda m z} C_m \frac{\cos}{\sin} a_m x \quad (8)$$

となる。この式中 D_0 , D_m は地表の密度分布から求まるから係数 C_m のみを重力の値から決定すれば良い。この式を変形して

$$\rho = \bar{\rho} + \sum X_m \frac{\cos}{\sin} a_m x, \quad (9)$$

但し X_m は

$$X_m = e^{-\lambda z} D_m + (1 - e^{-\lambda z}) e^{-\lambda m z} C_m \quad (9')$$

である。この X_m は以下の議論において重要な量である。

§ 3 密度分布と重力との係数の間の関係

深さ z における厚さ dz の水平板上の質量分布が

$$(X_0 + \sum X_m \frac{\cos}{\sin} a_m x) dz$$

である時に、これによる重力を

$$B_0' + \sum B_m' \frac{\cos}{\sin} a_m x$$

とするならば、その係数は

$$B_0' = 2\pi k^2 X_0 dz, \quad B_m' = 2\pi k^2 e^{-a_m z} X_m dz$$

で表はされる。 k^2 は万有引力常数である。

この様な板が深さ 0 から Z まである時の地表の重力 g が

$$g = B_0 + \sum B_m \frac{\cos}{\sin} a_m x \quad (10)$$

で表はされる時は

$$B_0 = 2\pi k^2 \int_0^Z X_0 dz, \quad B_m = 2\pi k^2 \int_0^Z e^{-a_m z} X_m dz \quad (11)$$

となる。今我々の考へる所では X_m は (9') 式であるから

$$\frac{B_m}{2\pi k^2} = \int_0^Z e^{-(\lambda + a_m)z} D_m dz + \int_0^Z (1 - e^{-\lambda z}) e^{-(\lambda m + a_m)z} C_m dz$$

を得る。この積分の上限 Z を無限大にして

$$\frac{B_m}{2\pi k^2} = \frac{D_m}{\lambda + a_m} + \frac{\lambda}{(\lambda + \lambda_m + a_m)(\lambda_m + a_m)} C_m,$$

即ち
$$C_m = \frac{1}{\lambda} (\lambda + \lambda_m + a_m)(\lambda_m + a_m) \left\{ \frac{B_m}{2\pi k^2} - \frac{D_m}{\lambda + a_m} \right\} \quad (12)$$

を得る。かくて地表の重力と密度分布の係数 B_m , D_m が求まれば地下密度分布の係数 C_m が算出し得るので (8) 式に代入して地下の密度分布が決定される。密度変化係数 λ_m を 0, λ , 又は a_m とした場合の C_m 式中の因数 $(\lambda + \lambda_m + a_m)(\lambda_m + a_m)/\lambda$ の値は第4表の如くであつて、波長 l が大きくなる程小さくなる。又求めた C_m を (8) 式に代入した際その級数は収

第4表 $-\frac{1}{\lambda}(\lambda+\lambda_m+a_m)(\lambda_m+a_m)$ の値
(単位 10^{-5} C.G.S.)

l (km)	$\lambda_m=0$	$\lambda_m=\lambda$	$\lambda_m=a_m$
0.5	328.4	354.5	1288.4
0.6	229.8	251.7	893.2
0.8	131.22	147.93	509.2
1.0	85.24	98.81	328.4
1.5	39.28	48.66	148.75
2.0	22.88	30.16	85.24
3.0	10.88	16.06	39.28
4.0	6.51	10.65	22.88
6.0	3.24	6.33	10.87
12.0	1.07	3.12	3.24
∞	0	1.00	0

斂するものとする。実際問題では $\lambda_m=0$, $\lambda_m=\lambda$ の時は収斂級数になつても、その収斂の度合は悪い。この時は適当な項まで採用して計算する。 $\lambda_m=a_m$ の場合は z の小さい地表面近くは兎も角も、それ以外では収斂し深くなる程収斂は早くなる。

こつで注目すべきは地下の密度分布の係数 C_m は平均密度 $\bar{\rho}$ の変化の仕方には無関係で (9') 式の X_m だけで決定される事である。即ち平

均密度 $\bar{\rho}$ が (1) 式で表はされない場合例へば平均密度に不連続面があつても、 X_m のみが (9') 式で表はされる様な密度分布ならば C_m が (12) 式で決まる事である。

又 (12) 式中 D_m の項の符号が負である事は地表面の密度の大きい所ではその真下の地下の物質密度は小さくなつてゐる事を示し、これは地殻均衡説の説く所と定性的に一致してゐるのであつて、この事については別稿で論ずる。

地下密度分布を算出する代りに、地表面における密度変化率 $(\partial\rho/\partial z)_0$ を求める事はより容易に出来るものである。即ち (8) 式を z で微分して $z=0$ とすると密度変化率は

$$\left(\frac{\partial\rho}{\partial z}\right)_0 = \lambda\{\rho_t - D_0 + \sum(C_m - D_m) \frac{\cos}{\sin} a_m x\} \\ = \lambda\{\rho_t - \rho_0 + \sum C_m \frac{\cos}{\sin} a_m x\} \quad (13)$$

で表はされる。若し λ_m が m の如何に拘わらず一定で $\lambda_m = \lambda_0 (= \text{const.})$ ならば

$$\rho - \rho_0 = (1 - e^{-\lambda z})(1 - e^{-\lambda_0 z})(\rho_t - \rho_0) + \frac{1}{\lambda}(1 - e^{-\lambda z})e^{-\lambda_0 z} \left(\frac{\partial\rho}{\partial z}\right)_0 \quad (14)$$

であるから、密度変化率 $(\partial\rho/\partial z)_0$ を求めておけばその点の地下任意の深さの物質密度 ρ が求められる。特に問題が三次元の場合は、密度変化率を先に求め必要に応じて地下の物質密度を算出する方が良策である。その爲には (14) 式を用いて種々の $(\partial\rho/\partial z)_0$, z に対する $\rho - \rho_0$ を求めて一つの図表にしておけば便利である。

三次元の密度分布を求める場合も同様に論じ得る。即ち各種の量を二重 Fourier 級数:

$$\sum \sum \frac{\cos}{\sin} a_m x \frac{\cos}{\sin} b_n y$$

の形に表はすならば、上に導いた式において B_m , C_m , D_m , λ_m を夫々 B_{mn} , C_{mn} , D_{mn} , λ_{mn}

とし a_m の代りに $\sqrt{(a_m^2 + b_m^2)}$ とすれば良い。

又円筒座標 r, θ, z を用いる時は

$$\sum \sum J_n(a_m r) \frac{\cos}{\sin} b_n \theta$$

の形の Bessel-Fourier 級数になるので、 B_m, C_m, D_m, λ_m を $B_{mn}, C_{mn}, D_{mn}, \lambda_{mn}$ とし、 a_m はそのまま a_m とすれば良い。

§ 4 実例—秋田平野及び新潟縣坂町の重力の解釈

上述の理論の応用例を示さう。

昭和 26 年度当社で調査した秋田平野の重力探鉱の結果を用いて解析した。この地域は本邦屈指の油田地帯で既に昔から多くの石油井が掘られ、それによる地質構造も他地區に比してよく調査研究せられており、加うるに地震探鉱も最近行はれ此の重力解析の結果を実際の構造と対比するのに好個の場所である。就中、重力調査の結果はその異常が極めて小さく従来の方法では到底解釈出来なかつた所であるが、著者の方法を用いて初めて納得のゆく解釈が得られたのである(註 9)。

第5表 秋 田 平 野

測点 番号	観測値 g (10^{-5} C.G.S.)	m	B_m (10^{-5} C.G.S.)	波長 l (km)	測点 番号	観測値 g (10^{-5} C.G.S.)	m	B_m (10^{-5} C.G.S.)	波長 l (km)
0	25	0	812.0	∞	13	795	13	-3.0	0.923
1	35	1	-828.8	12.	14	887	14	3.5	0.857
2	52	2	117.0	6.	15	970	15	-3.2	0.800
3	82	3	-109.8	4.	16	1058	16	1.6	0.750
4	136	4	39.0	3.	17	1161	17	2.8	0.706
5	194	5	-15.6	2.4	18	1272	18	0.8	0.667
6	273	6	16.9	2.0	19	1403	19	-2.3	0.632
7	355	7	2.0	1.714	20	1543	20	1.4	0.600
8	440	8	1.1	1.500	21	1681	21	-1.9	0.571
9	513	9	-4.9	1.333	22	1795	22	0.5	0.545
10	582	10	5.0	1.200	23	1900	23	-0.2	0.522
11	643	11	-3.0	1.091	24	1980	24	1.0	0.500
12	715	12	2.8	1.000					

測線は土崎背斜(著者の仮称、詳しくは後述)と八橋背斜の二つを東西に真横に切る全長 6km の直線にとつた。測点間隔は平均 250m でその観測値(Bouguer 異常) g は第2図(A)示した。測点は等間隔でないので等間隔な点に直した値を第5表に示した。この値を用い全長 6km を π とする \cos 項のみの Fourier 級数に分析しその各係数 B_m を第5表に示した。序でに各項の波長 l を同表に掲げた。第2図(B)は重力の観測値(A)から夫々 $m \leq 3, m \leq 6$ の項を除いたもので所謂残差重力(Residuals)を示すものである。(C)図は一次微分 g_z を $m \leq 12$ の項を用い、(D)図は二次微分 g_{zz} を $m \leq 8, m \leq 12$ の項を用いて表はしたもの

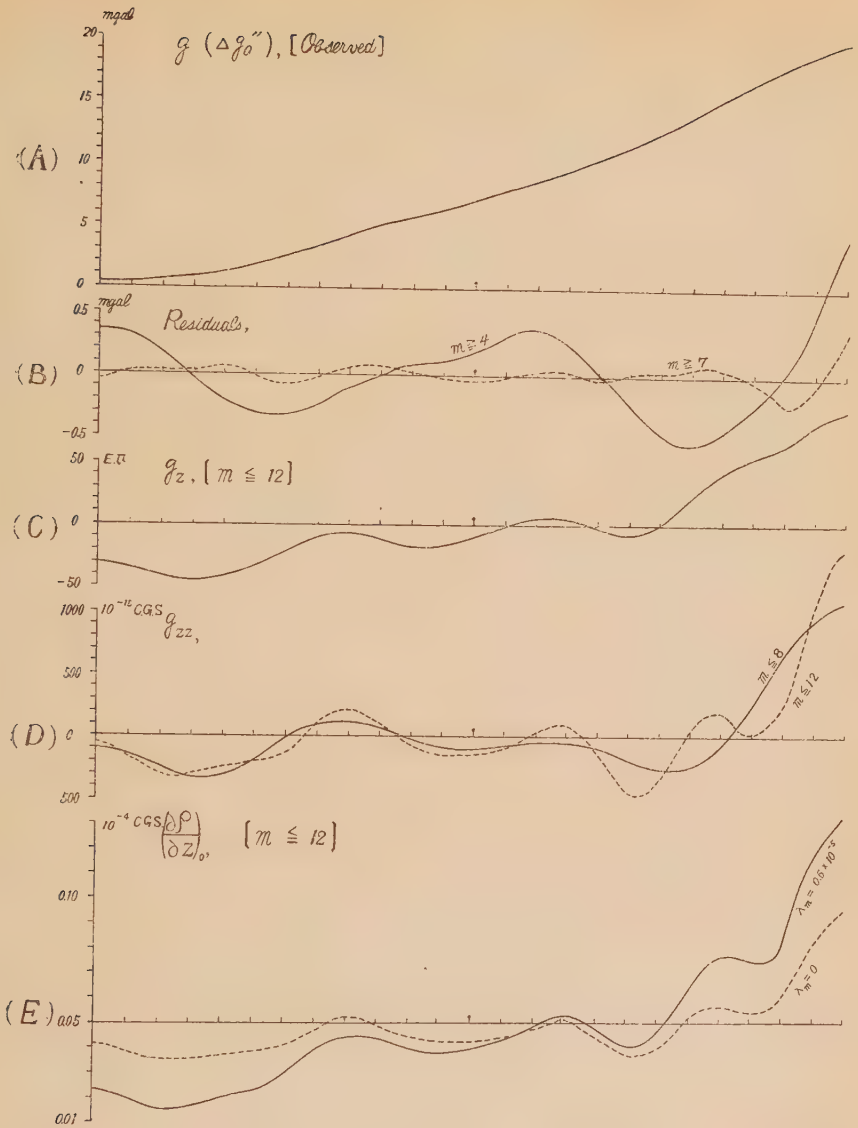


Fig.2. Akita Plane. (A) Observed gravity. (B) Residuals. (C) & (D) 1st & 2nd vertical derivatives. (E) $(\partial \rho / \partial z)_0$.

である(註8)。(E)図は地表における密度変化率 $(\partial \rho / \partial z)_0$ を(13)式を用いて計算したもので λ_m が0の時と $\lambda (= \text{const})$ に等しい場合を共に $m \leq 12$ の項を用いて表わした。観測値(A)や残差重力(B)からは判然としないが一次微分, 二次微分(C), (D)や密度変化率(E)を見れば二つの背斜の存在がはつきりしている。

第3図(F)は坪井の模型即ち地下の物質を一水平面に凝縮してその密度分布を計算したもので、一つは深さ 500m に凝縮面があるとし $m \leq 12$ の項を用い、他は深さ 750m の所に置

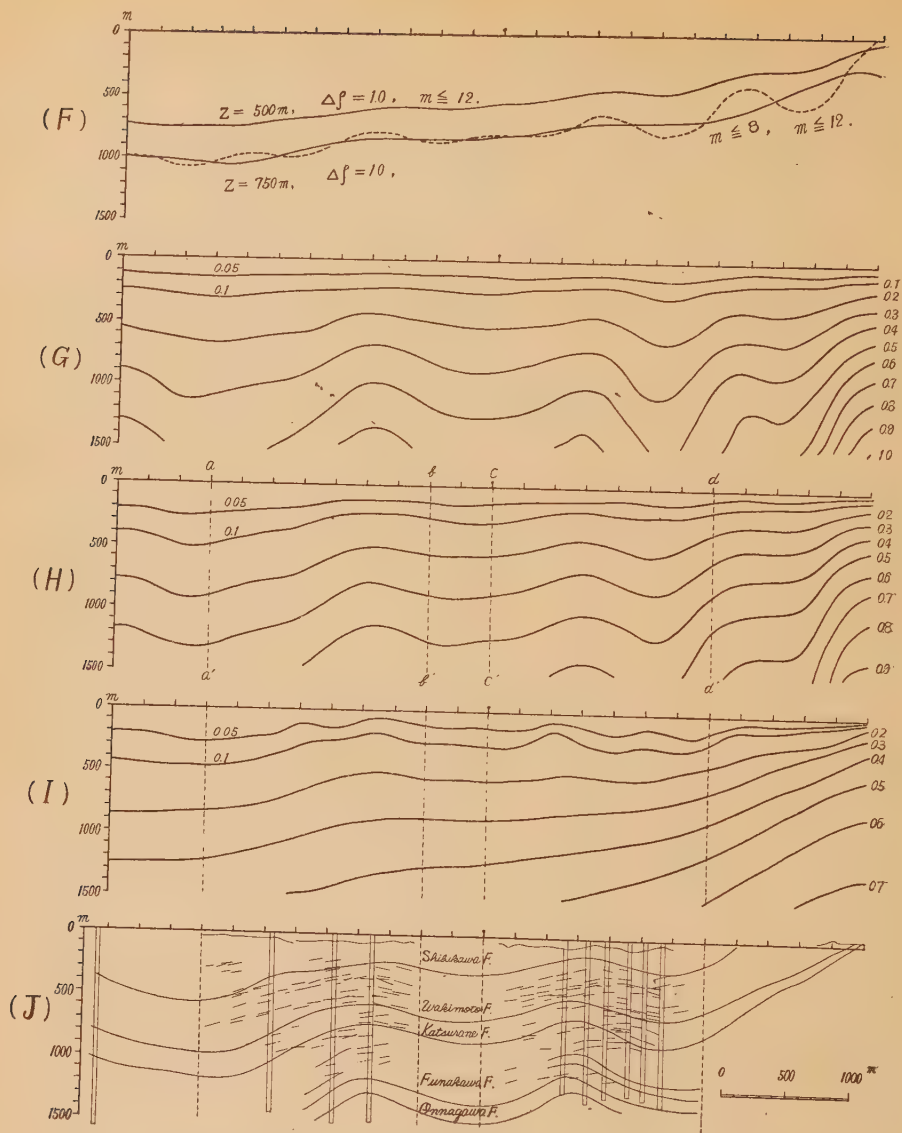


Fig.3. Akita Plane. Estimated density distributions, by Tsuboi's models (F), & by assumptions $\lambda_m=0$ (G), $\lambda_m=\lambda$ (H), $\lambda_m=a_m$ (I), (J) Geologic structure & results of seismic pros..

いて $m \leq 8$ 及び $m \leq 12$ の項を用いて計算した後、凝縮された物質の密度差 $\Delta\rho$ を 1.0 C.G.S. として凝縮面からの凹凸で表はしたものである。

(G), (H), (I) 図はこゝで述べた方法で求めた密度分布であつて、地表の密度は一様で $\rho_0 = \text{const.}$ 即ち $D_0 = \rho_0$, $Dm = 0$ として計算した。(G) は $\lambda_m = 0$ として $m \leq 12$ の項を用い、(H) は $\lambda_m = \lambda (=0.5 \times 10^{-5} \text{ C.G.S.})$ として $m \leq 12$ の項を用いて、又 (I) は $\lambda_m = a_m$ とした

場合で凡ての項を用いて計算したものである。これらは夫々の仮定の下に深さは 100m 間隔に密度を算出し等密度線を書いた。(J) 図は井戸の岩芯の観察から推定せられる地質構造と地震探鉱の結果を示したものである。最近の地質学的考察から土崎背斜(図左方の背斜)は逆断層で突上げられた構造と考へられ深い所では背斜と見做し難いが、この重力解析の結果の検討には特に差障がないから従来 of 解釈の上に立つて背斜構造とした。

坪井の方法(F)では二つの背斜の存在を確定し難いが、著者の方法で行つた(G),(H)或は(I)では余程はつきりその存在を認め得るであらう。(H),(I),(J)図の対比を容易にする為これらを重ねた図を第4図に示した。

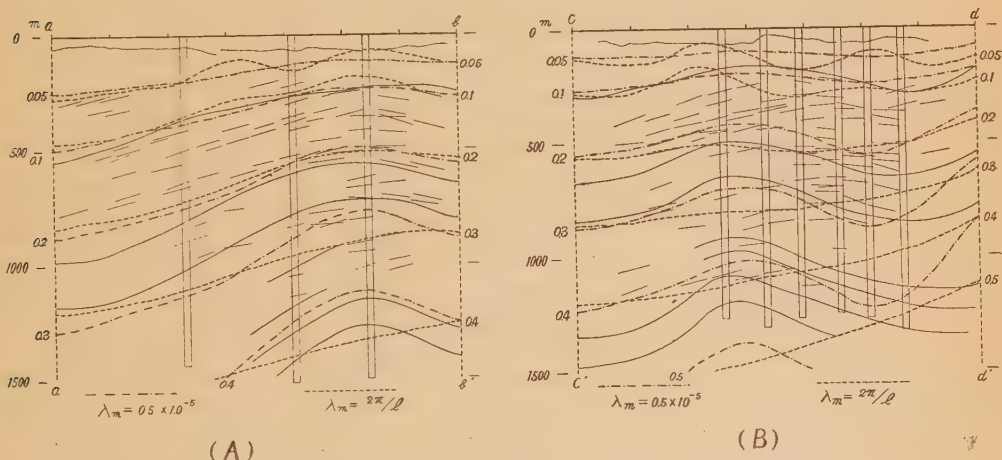


Fig.4. Akita Plane. Estimated density distributions, geologic structure & results of seismic pros.
(See Fig.3. H, I, J)

これらの図から判るやうに筆者の方法で計算した結果は非常によく実際の構造と一致している。猶才4図を見ると地質構造は $\lambda_m = \lambda$ とした場合が、又地震探鉱の結果換言すれば物理的構造は $\lambda_m = \alpha_m$ とした方が良く一致している事は注目すべきで、これは地震探鉱や地質構造推定の誤差を考慮に入れても著しい差異である。

$\lambda_m = 0$ とした場合(G)の計算が一番簡単であるが、深さが深くなると不合理な結果を生む。即ち密度分布が垂直な板状になるので、地表に極く近い部分の密度分布の計算に用いれば良い。1000m 又は 500m より浅い所では λ_m の仮定の差異による密度分布の相異は少い事が認められる。

秋田平野ではこの測線の他に、これと平行に南北夫々約 1km 離れた所及び金照寺を通る略々東西線の三つの測線について同様な解析を試みたがいづれも上例場合と同様な実際の構造との対比が出来た。

猶上記の測線において地表の密度分布を考慮に入れて計算したが、その結果はこゝで省略す

る(註⁹)。構造の波長 l が小さいと(12)式中の D_m の項は B_m の項に比して小さく C_m は殆んど変わらず、唯 ρ_0 が変つてその点から鉛直下方の密度がそれにつれて $\exp(-\lambda z)D_m$ だけ多くなるに過ぎない。夫故地表の密度分布の係数 D_m が特に大きな値でないこの例の場合の地下密度分布の様子は $D_m=0$ とした場合と大差はない。

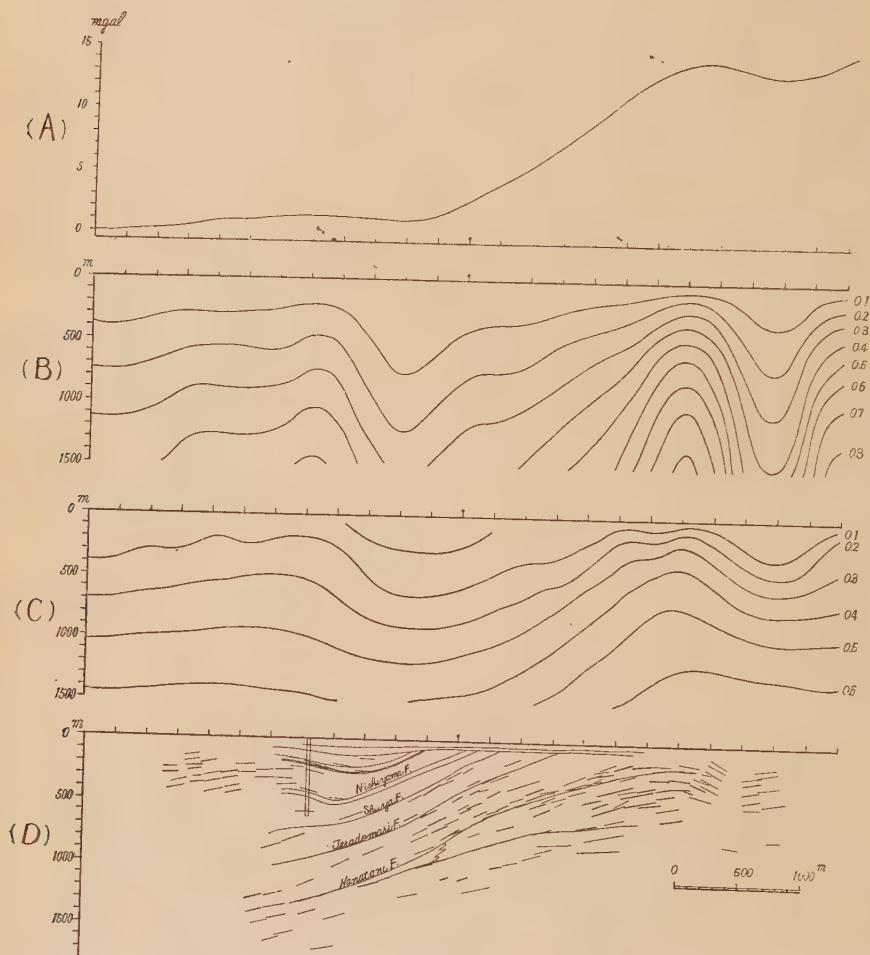


Fig.5. Sakamachi (Niigata Plane). (A) Observed gravity.
 Estimated density distributions, (B) $\lambda_m = \lambda$, (C) $\lambda_m = a_m$.
 (D) Geologic structure & results of seismic pros..

第5図は昭和25年度の新潟縣坂町の重力調査の結果を用い全く同様に解析を行つたもので (A)は観測値 (Bouguer 異常), (B)は $\lambda_m = \lambda$ とし $m \leq 12$ の項を用い, (C)は $\lambda_m = a_m$ とし凡ての項を用いて計算したもので, (D)は地質構造及び地震探鉱の結果である。こゝでは $\lambda_m = a_m$ とした場合が地質構造にも地震探鉱の結果にもよく一致している。秋田平野の場合 $\lambda_m = \lambda$ の場合は地質構造に, $\lambda_m = a_m$ の場合は地震探鉱の結果によく一致

している事は次の様に解釈する事が出来るであろう。即ち秋田平野では地層が充分凝縮しない内に褶曲が起つて、その後各構成物質はその褶曲されて得た位置を変へないでその儘上からの圧力によつて深さに比例した凝縮作用が起つたと考へるのである。坂町の例は構成物質が充分凝縮せられた後褶曲したもので、褶曲後の凝縮度の変化が無いと考へるのである。

上の二例において筆者は λ_m が波長 l に関係している場合これを a_m に等しいとしたが、この充分な理由はないのであつて、この様に仮定した場合が物理的状态をよく表現出来たと云うに過ぎないのである。

§ 5 考慮に入れる地殻構成物質の深さと残余重力との関係

上の実例から筆著の模型を用いた計算結果が実際の構造と良く一致している事が判つた。夫故一般に地殻物質の密度はこのやうな或はこれに近い分布をしていると仮定して、更にこの模型を吟味しよう。

(12) 式を算出する際積分の上限 Z を無限大にしたが、地下資源探査の目的では考慮に入れる深さは精々 1500m 或は 2000m 迄である。そこでこの深さ Z までの地殻物質による重力及びその Fourier 係数を g' , B'_m , Z より深い所の物質によるものを g'' , B_m'' とすると、観測される重力及びその係数は

$$g = g' + g'', \quad B_m = B'_m + B_m'' \quad (15)$$

である。こゝで g'' はその地區の**大局的傾向** (Regional gravity) を、 g' はこの傾向を観測値から引去つた**残余重力** (Residual gravity) を与へるものと考へる事が出来る。勿論秋田平野の例 (才2図 (B)) で考へた残差重力 (Residuals) とこの残余重力とは本質的に異なるものである。

今地表の密度は一定即ち $D_m = 0$ として B_m'' を求めると

$$\frac{B''}{2\pi l^2} = \left\{ \frac{e^{-(\lambda_m + a_m)Z}}{\lambda_m + a_m} - \frac{e^{-(\lambda + \lambda_m + a_m)Z}}{\lambda + \lambda_m + a_m} \right\} C_m$$

であるから

$$\frac{B''}{B} = \frac{B_m}{B_m} = \left\{ 1 + (\lambda_m + a_m) \frac{1 - e^{-\lambda Z}}{\lambda} \right\} e^{-(\lambda_m + a_m)Z} \quad (16)$$

となる。この式も (12) 式と同様に (9') 式の X_m だけで決定される値であるから平均密度 $\bar{\rho}$ に不連続面があつても適用し得る。この値を $\lambda_m = \lambda (= 0.5 \times 10^{-5} \text{ C.G.S.})$ の場合と $\lambda_m = a_m$ の場合とについて求めたものを第6表及び第6表に示した。

これらの図表を見れば重力の起伏の波長がどれ位ならば、その構造の深さはどれ位であるかが判る(註10)。例へば $\lambda_m = \lambda$ の場合では波長 1km のものは 500m より浅い物質分布によるものと予想せられる。又或る深さ迄の構造を考へるのに大局的な重力の傾向として、どの範囲ま

第6表 B''/B の値 (単位 10^{-3}) (l, Z の単位は km) $\lambda_m = \lambda$ の場合

$Z \backslash l$	0.25	0.5	1.0	2	3	4	6	8	12	16	24
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
0.125	167	504	780	914	950	966	979	984	989	991	993
0.25	12	155	476	747	842	881	926	944	960	968	975
0.5		10	135	423	587	680	777	825	871	893	914
0.75		1	32	214	375	486	617	688	761	798	834
1.0		0	7	101	227	312	472	556	649	697	747
1.5			0	21	76	143	259	343	448	509	575
2				4	24	58	134	201	296	357	428
3				0	2	8	33	63	120	164	222

 $\lambda_m = a_m$ の場合

$Z \backslash l$	0.25	0.5	1.0	2	3	4	6	8	12	16	24
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
0.125	13	175	524	803	893	932	965	978	989	993	996
0.25	0	13	171	515	696	793	884	924	959	973	985
0.5		0	12	163	351	497	676	773	867	910	948
0.75			1	44	156	281	480	610	755	827	896
1.0			0	11	65	150	326	465	640	738	836
1.5				1	10	39	139	252	438	563	708
2				0	1	9	55	129	286	414	583
3					0	0	8	31	114	210	377

での様な傾向を如何なる程度だけ観測値から差引かねばならぬかを判る。例へば 1500m より浅いものを考へる時は波長が 20km 前後になる重力の様な傾向の半分位を差引いて残余重力を求めれば良いと云う見当がつくわけである。又残余重力や二次微分等を重力図から計算する場合(註11)、計算に考慮に入れる半径をどの位に採れば良いかを判る。例へば 1000m 以浅の構造を対象とするなら半径は 3~4km とすべきであつて、従来はこれを 1~2km としたがこれは小さ過ぎる様である。

$\lambda_m = \lambda$ とした場合は地下 10~20km 附近の花崗岩層と玄武岩層との境界と考へられる附近で B''/B も又密度分布の振巾も非常に小さく 0 と考へて良いが、 $\lambda_m = a_m$ の場合は波長 l が 100km 以上になると花崗岩層のみの問題として片付けられない事がこの図表から判るのであつて、これは地殻均衡説と関係づけて別稿で述べる。

次に実例を示して残余重力と大局的傾向との関係の理解の援けにしよう。

第7図は上例秋田平野の才3図(H),(I)の場合について深さ 1500m までの物質分布から逆算した重力を残余重力とし、1500m 以深に考へられる物質分布による重力を大局的傾向としたものである。猶この図では夫々の曲線の重力の値は互いに関係なく且つ二つの曲線は 1m-

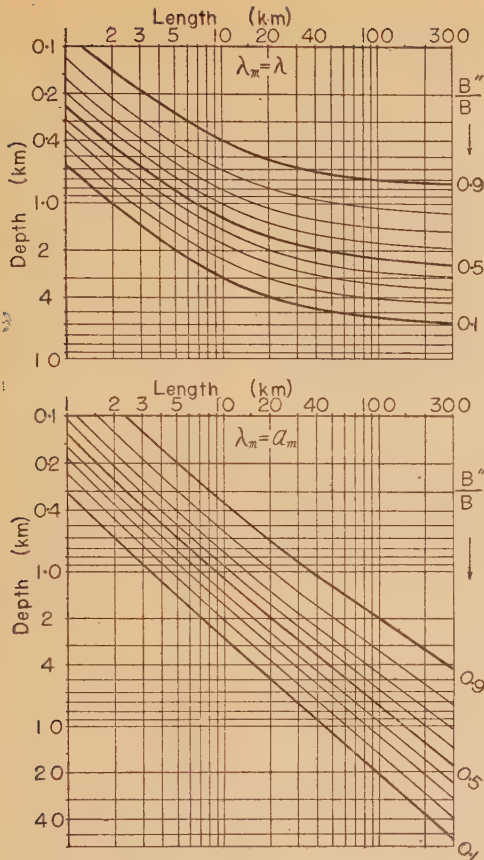


Fig.6. Ratios of g''/g .

gal だけ基点をずらしてあるが、この二つの場合とも残余重力従つて大局的傾向も殆んど等しい事は注意すべきである。この实例からも 1500m 以浅の構造を考へる時は、観測値の一般的傾向（この例では波長 12km）の 4 割から 5 割のものを観測値から差引いたのが良い事が判る。

§ 6 重力の各係数に重味を附して表現すること

地表面の重力が (10) 式で表わされる時、その一次微分 g_z 、二次微分 g_{zz} は夫々係数 B_m に次の様に重味をつけて再合成したものである：

$$\left. \begin{array}{l} \text{一次微分 } g_z: \alpha_m B_m \\ \text{二次微分 } g_{zz}: \alpha_m^2 B_m \end{array} \right\} (17)$$

又坪井の模型では凝縮面の深さを d とするとその面の密度分布の係数は

$$e^{\alpha_m d} \frac{B_m}{2\pi k^2} \quad (18)$$

である。これらの重味を才 1 項 $m=1$ の値を

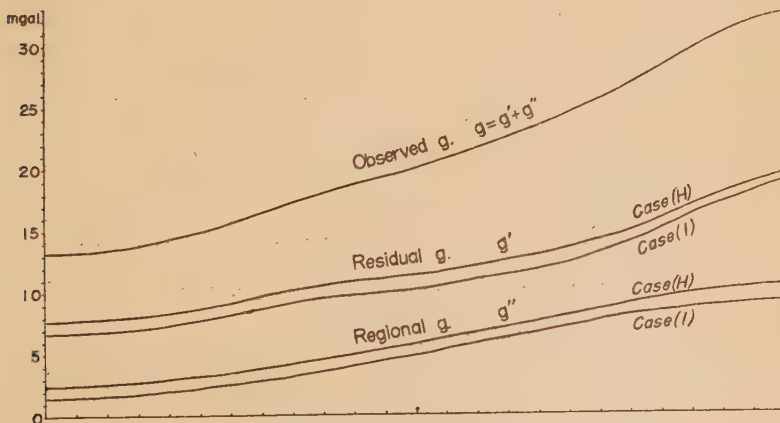


Fig.7. Akita Plane, Residual g. & regional g..

1 にとつた相対的値を第 8 図に示した。図中 (T) は坪井の模型の場合を表わす。

同様な見方で筆者の模型で深さ z の水平面内の密度分布の係数は

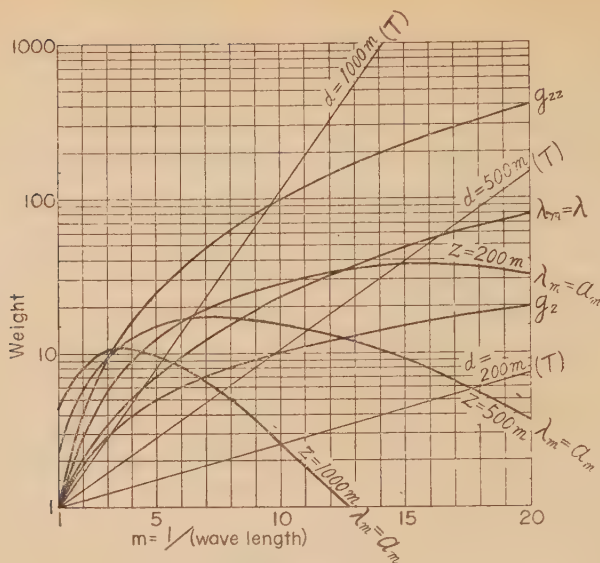


Fig.8. Weights.

$$\lambda_m = \lambda \text{ の時: } (1 - e^{-\lambda z}) e^{-\lambda z} \left(2\lambda + 3a_m + \frac{a_m^2}{\lambda} \right) \frac{B_m}{2\pi k^2} \quad (19)$$

$$\lambda_m = a_m \text{ の時: } (1 - e^{-\lambda z}) e^{-\lambda z} \left(2a_m + 4 \frac{a_m^2}{\lambda} \right) \frac{B_m}{2\pi k^2} \quad (20)$$

となつて、これらは重力、一次微分、二次微分を更に夫々重味を附けて加へ合せたものである。

これらの重味の値も第8図に示した。 $\lambda_m = \lambda$ の場合は z に関する因数は m に無関係だから1とし、 $m=1$ の項の重味が1になる様に表わし、 $\lambda_m = a_m$ の時は m と深さ z とによつて重味の相対的値が変化するので、 $z=200m$ の時の $m=1$ の項の重味を1にとつて表わした。

この図から判る様に重味は g_{zz} の方が g_z より早く発散し坪井の模型では凝縮面の深さが波長に比して小さい時は発散は比較的遅いが、深くなると発散は急激となる。 $\lambda_m = \lambda$ の場合は重味は g_z と g_{zz} との中間であつて、波長の長い所では g_z に、波長が短くなれば g_{zz} に似て来る。 $\lambda_m = a_m$ の場合は深さが少しでも深くなると或る m から大きいものに対する重味は m が大きくなるにつれて0に収斂する。この時重味の最大になる m があつて、これは深さと共に0に近づいて来る。即ち深くなるにつれて波長の長い構造が卓越し、他の波長に対する卓越の度は大きくなり、又その重味の最大値は深い程小さくなって来る。

このやうに $\lambda_m = a_m$ の場合以外は m が大きくなると共に重味が無限に大きくなるので、重味をつけられた Fourier 級数の和が収斂すると云う事は必ずしも保証されない難点がある。

§ 7 結 語

筆者はここに一つの地殻物質密度の分布の模型を考へて、それをういた計算例を示して次の

様な結論を得た。

1) この模型は実際の地下構造をよく説明することが出来る。

2) 密度変化係数 λ , λ_m は他の物理的地質的条件から決定されるものであるが上記の実例によつて $\lambda = 0.5 \times 10^{-5}$ C.G.S., $\lambda_m = \lambda$ 又は α_m とすれば少くとも地下 1500.n より浅い所では一般に適用し得る。実際の構造は λ_m は波長 l の函数として λ から α_m の中間の適当な或る形を探るであらう。

3) 極く浅い所迄の物質分布を考えるならば $\lambda_m = 0$ 又は λ として差支へない。

4) 大局的傾向と残余重力との関係を明確にする事が出来る。

最後に本稿を発表するに当り、東京大学坪井先生、淵田先生、京都大学熊谷先生、佐々先生地質調査所金子氏等から有益な助言や批判を下され、又帝国石油内藤取締役、林物探課長他物探課職員から始終便宜を与へられた事に対し深甚の謝意を表します。又数値計算や製図を手伝つてもらつた花田博、渡辺久彌両社員の労を謝して擲筆する。

註

(註1) 本稿の要旨は昭和 27 年地震学会春季講演会、物理探鉱協会秋季講演会にて発表した。

(註2) 例へば文献 (3), (4), (5), (6) 及び (12), (13)。

(註3) 文献 (1), (7), (8), (9), (10), (18)。

(註4) “重力と地下構造との関係 (II)” をいう。未発表。“地震” に発表の予定。以下本論文中別稿とはこれを指す。

(註5) 資料は昭和 27 年 3 月 20 日の火災で焼失。これらの資料は地上に取出した岩芯の値であるので地下にある状態と異る。故にこれらの資料から λ のみを決定し、 $\bar{\rho}_0$, ρ_c は別の考慮から仮定した。

(註6) この重力異常の大きさ及びその信頼度の判定については文献 (14), (15)。

(註7) 各係数の信頼度については文献 (15)。

(註8) 計算法は文献 (11)。

(註9) 昭和 27 年物理探鉱協会秋季講演会にて発表。

(註10) 才6図又は才6表を用いてこのやうな見当を附ける事は大雑把なもので勿論 λ , λ_m の仮定が異ればそのまゝ用いられない。

(註11) 例へば文献 (16), (17)。

参 考 文 献

(1) 坪井忠二, “重力” [改訂増補], 岩波全書, (1944)。

(2) 松山基範, “地殻及び地球内部の物理学”, (岩波講座)。

- (3) Heiland, *geophysical Exploration*, (1940), (1951).
- (4) Jakosky, *Exploration Geophysics*, (1940), (1950).
- (5) Nettleton, *Geophysical Prospecting for Oil*, (1940).
- (6) Dobrin, *Introduction to Geophysical Prospecting*, (1952).
- (7) C. Tsuboi, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **16** (1938), 285; **17** (1939), 351, 385; **19** (1941), 26.
- (8) C. Tsuboi, *Proc. Imp. Acad.*, **16** (1940), 449.
- (9) 金子微一, 宮村撰三, 矢橋徳太郎; 地震 **11**, (1939), 1.
- (10) N. Kumagai, *Jap. Journ. Astr. & Geophys.*, **17**, (1940), 447.
- (11) C. Tsuboi & M. Katō, *Jour. Phys. Earth*, **1** (1952), 95.
- (12) 坪井忠二, “二次元の図式解法”, (地震).
- (13) 加藤元彦, 物理探鉱第5巻第2号, No.12 (1952).
- (14) 加藤元彦, 物理探鉱第6巻第1号, No.15, (1953).
- (15) 加藤元彦, 物理探鉱第6巻第2号, No.16, (1953).
- (16) R. G. Henderson & I. Zietz, *Geophys.* **XIV**, (1949), 508~516.
- (17) T. A. Elkins, *Geophys.* **XVI**, (1951), 29~50.
- (18) 永田 武, 帝国学士院記事, **14** (1938), 176; 地震研究所彙報 **16** (1938), 550

海南島地震小史並びに年表

金沢大学法文学部 慶 松 光 雄

(昭和 28 年 7 月 20 日受理)

The Short History of the Earthquakes in Hainan Island and their Chronological Table

Mitsuo KEIMATSU

The Faculty of Law & Literature, Kanazawa University

SUMMARY

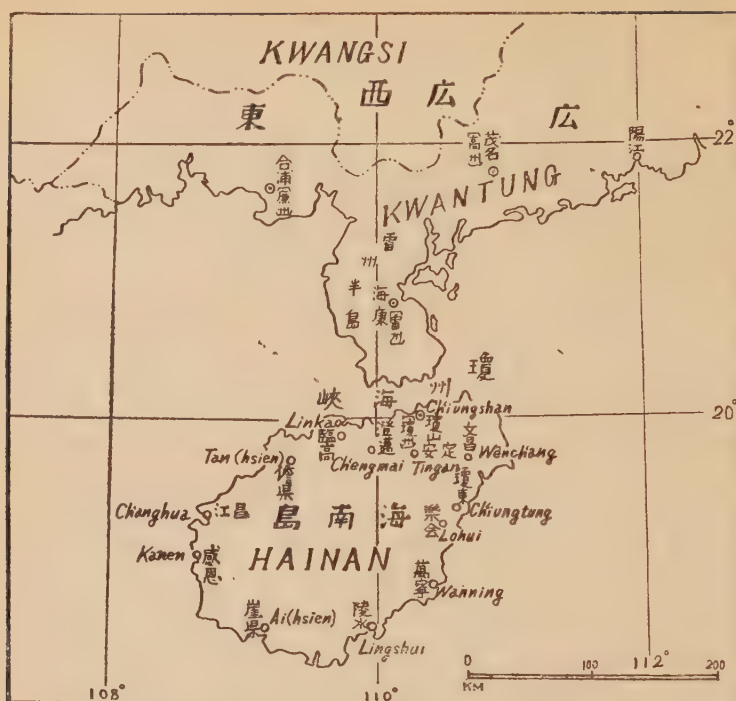
Previous to the year 1468 it seems difficult to find the data of the earthquakes concerning Hainan Island. The Table is thought not always to coincide with the real conditions of the historical earthquakes, by the lack of data, though sought as hard as possible. The marks O, ⊖ both indicate that the earthquake was felt there at that time, and besides the latter mark ⊖ means that the earthquakes seated on the same line are no other than the same one. The figures, VI~II in parentheses stand for the seismic intensities presumed, VI being the disastrous earthquake, V strong, strong, IV strong, III rather strong, II moderate. The seismic intensity of the earthquakes unaccompanied by these figures are uncertain, but they can be presumed not over II, namely the moderate earthquake.

NOTE

* “*Nienhao*” (on the uppermost line of the table); the style or designation of an Emperor's reign, according to which the years are dated 1st, 2nd, 3rd, etc. Formerly the “*nienhao*” was frequently changed during the same reign, but under the Ming and Ch'ing dyns. (1638-1911) it was prescribed one “*nienhao*” for one Emperor.

* “*Minkuo*” (on the lowest line of the table); the Republic of China.

海南島の地震については、歴史的のものたると現代に関するものたるとを問わず、従来殆んど専門的の立場からこれを明かにしたもののあることを聞かない。又一方、旧台湾総督府編「海南島誌」などについて見ても、特に地震の一項を設け乍ら「本島は古来殆んど地震の起らない所で」というようなことで簡単に片付けられて了つている。1605 年(萬曆 33 年)の同島の大地震は、シナ地震史上に於ても特記す可き程のものであるにかゝらず、私が紹介するまでその存在すら注意されていなかった。後に記す年表は、昭和 27 年春季地震学会に於て、上記の大地震とともに発表したものであるが、其後更に得た資料によつて大いに訂正増補を試みた。海南島は僻遠の島嶼であり、永らく中国本土、殊に都にある人々にとつては流罪の地としてより以外に殆んど注意を引かなかつた所ではないかと思う。それ故同島の地震など、中央に於て編纂された史書の類に記載されることのなかつたのは当然でもあらう。歴代の地震を一括、



比較的よく記載している漢書以下明史に至る正史の五行志、文献通考・続文献通考の物異考、通志・続通志の災祥略、或いは図書集成の如き類書中の該当項にも一向同島の地震に関する記事を発見し得ない。中央で編纂された正史に準する史書の災祥志の類で、同島の地震をとり上げているのは、清史稿の災異志が後にも先にも唯一のものではないかと思う。その外に中央に残された記録中に見えるものとしては、明実録の数条が僅か乍ら実に貴重なものであつて、同時にその中に同島最古の地震記録を見出し得ると思う。それは成化4年6月甲辰（1468年4月14日）の条に載せられている鎮守広東太監陳瑄等の上奏中に見える「今年三月十二日夜三更。瓊州府地震。未震之先有声。從西南起。遂大震。既而復震方久方止。云々」の文である。以上の明実録と清史稿を除けば、管見の及ぶ所、同島の地震記録は悉く地方志に求め得るものに限られている。同島は明清時代瓊州一府に統轄されていたので、同島全般に関する地震記録は、先ず瓊州府志の中に求められる。瓊州府志には、上野図書館に蔵せられている貴重な萬曆編纂のもの外、清朝道光年間編纂になるものが広く行われている。民国22年、彼地に於て編纂された海南島誌は上記の瓊州府志を受けつぐものと云う可きであろうが、この中には遺憾乍ら全然地震記事の採録を見ない。この外、同島の各州・縣に関する州志・縣志の中にも地震を記載しているものが可成り多く、私の調査した方志の書名は後に記す通りである。地方志といえ、海南島に限らず、同島の所属する広東省は勿論、時には広西省をも含めた中国本土方面の各種の方志にも、この島の地震に関する記載を存するものがある。而してこのことは震域が海

南島と本土の双方に跨るような大地震について特に注意を要することである。以上諸種の原典に基いて作製したのが次の年表である。見られる通り、民国に入つてからの記載は僅か一条しかない。これは民国に関する地震史料として私の求め得たものが、僅か民国 25 年編纂の儋縣志一書に止まるのに基くためであつて、実際にはもつと多くの地震が予想され、他日の改訂を期するものであるが、この部分に関する増訂は、明清時代の部に比してその可能性がずつと大きいと考えられる。

さて明の成化 4 年 (1468 年) から民国 2 年 (1913 年) に至る 446 年間、海南島の地震は表の如くに配置される。その間左端の番號では 64 を数え得る。この 64 という数に対して實際起つた地震の回数はいかに、64 以上ということを書いて得るだけで、到底これを確認することは出来ない。史料の上だけから云えば、この表に現わされた番号 1 回に対して地震も大体 1 回と考えてよいものと思う。併し中には No. 16a の大地震の場合の如く余震が数ヶ月に亘つて続いたと思われるもの、或は No. 12 の如く 1 ヶ月以上に亘る頻発地震かと思われる場合などがあるから、表だけについても實際の回数が 64 を上廻ることは確實である。併しこれを 446 という年数に配して見ると決して多いとは云えず、殊に 1 ヶ所づつについて見れば非常に少いことに気付く。最も少い陵水・樂会兩縣では各々 3 回、最も多い瓊山縣でも、大地震の余震回数不明のものを除けば 18 回に過ぎない。他は要するにこの 3 回から 18 回までの間に入るので、10 回前後という所が最も多い。それで一先ず海南島はめつたに地震の起らぬ所であるということを書いて得るかの如くである。尤もこの場合、海南島が中国全体から見て非常に開発のおくれた所であること、同島自体についても更に各地の開発度に甚しい差のあることなどは、地震史料を取扱う上に於ても十分考慮す可き事柄である。中国全般に関する立場から云えば、1468 年以前に地震記録を容易に見出し得ないということ自体が、先ずこの島の後進性に由来する最大のものであろう。又島内各地の歴史的地震に対する認識についても、それが文献によつて左右されることの大きいことは申すまでもない。例えば、表記 11 縣の中、その縣独自の史料によらない樂会・陵水・崖 3 縣の地震は、表に見られる通り著しく少い。これを更に説明すると、他の諸縣は瓊州府志の如き全島に関する史料の外に、臨高縣は臨高縣志、文昌縣は文昌縣志という風に各々独自の方志を有し、而もその中に地震史料が或程度まとまつた形で収められている。併し上記 3 縣については其県自体の方志を見る由なく、それが特にこの 3 縣に地震が少いという結果を生んでいることは否み難いと思われる。なお之等地震史料を載せている方志について云つても、その地に起つた地震を網羅しているとは云い難い上に、其等の多くが編纂されたのは 19 世紀後半のことであつてそれ以後今日に至る数十年間の史料は容易に求め得可くもないのである。又海南島には、表の 11 縣だけでなく、その外に西方海に近く昌江・感恩の 2 縣がある。所がこの 2 縣については一向地震記録を得られなかつた。感恩縣などは、民国 20

年編纂の同縣志を調べたが、編纂方針そのものが地震記録の類を採録せぬものの如く、これによつても一向得る所がない。併しこの兩縣だけに地震が全然なかつたなどとは到底考えられぬ所である。又諸縣治の配置を見るに、大体周囲の海岸に沿つて居り、地震の記録されているのも、之等縣治の附近に限られている場合が多く、従つて最大面積を占める同島中央部の状態は一向不明である。更に別の云い方をすると、西北部儋県と東南部萬寧縣とを結ぶ線によつてこの島を二分すれば「地震は東北部に多く、西南部には殆んど起らない」或は「東北部の地震は或程度わかるが、西南部の状態は殆んど不明である」といい得よう。而してこの事實は地震史料に作用する各地の開発度の相異に帰せられる面が多いことは上述の通りであるが、表を見る上に十分注意して欲しい点でもある。

以上の事實はともかくとして、海南島の地震の實際を文献上から最もよく trace 出来る所といへば、それは云うまでもなく、瓊山縣であろう。こゝは海南島行政の中心であり、雷州半島に最も近い島内第一の都會であることは、歴史的にも今も變りがない。文化的にも明代既に相当見る可きもののあつたことは、上野図書館に珍藏される萬曆瓊州府志を手にしてじかに感ぜられる所であつた。勿論こゝで得られる地震記録ですら、15 世紀の後半を溯らないことは前述の如くであるが、此地の地震は瓊州府の役所なり同じ城内にあつた瓊山縣の役所なりに忠実に記録され、それが瓊州府志、瓊山縣志などに或程度は繼承されていると考えられる。以上のことがらを念頭に置いて、改めて年表瓊山縣の項について検討し度い。こゝでも地震が少いということは先にも述べた通りであるが、そのことと共に時間的に地震が著しく偏在していることが問題となるものと考えられる。具体的に云うと、16 世紀から 19 世紀に至る 4 世紀間を通じて、17 世紀が圧倒的に多く而も 1677 年以後に集中している現象がそれである。以上の事實が加何なる程度に地震の實際と照応するかということは、前述の如く同縣が全島中最も地震史料にめぐまれた処であるだけ、諸縣の代表の意味に於ても、十分考えて見る必要があらう。これに対して私は實は何んとも云いかねるのである。ただ強いて云へば、表に於て地震の特に多い時期、即ち 17 世紀後半などは、可成り実状に近いものがあるのではないかと推察するものである。この推測を或程度援けるものとして、光緒澄邁縣志に「嘉慶二十三年(1818)。按。瓊州地勢颶風地震歷年見」とあるのをあげ得よう。尤もこの史料は嘉慶 23 年澄邁縣に於ける地震を証するものとしては必ずしも有力ではない。それで私もこれに基いて表の同縣同年の條に地震を載せることを差控えた次第である。併し海南島に毎年現われる特記す可き現象として颶風の外に地震をあげていることは注目す可きことと考えられる。颶風は颱風であろう。こゝが颱風の通路に当り年々大きな被害に見舞われることは、同島に關する地方志の随所に見られる所で、現在の科学的常識からも十分首肯し得る所である。その颶風と並んで地震があげられていることは、たとい云う所の「歷年」が文字通り「毎年」ということではないにしても、

50年に1回、否 10 年 20 年に1回という程少ないものでないことだけは確かであろう。併し以上は飽くまで推測に過ぎないのであつて、正確を期する立場から云えば、表に現われた事実を事実として承認するより外にないので、むしろ今後瓊山縣に於ける地震の長期観測の結果が上記推測の当否を決定するに力あるものと云う可きであろう。

さて一つ一つの地震については、表に併せて註記を参照して貰えばほぼこれを明かにし得ると思う。その中、震域が海南島に止まらず、本土即ち広東或は広西省までを含む広い地域に及ぶものは左端の番號を特にゴシックで現わして置いた。No. 16a, b (1605 年), No. 32 (1695 年), No. 56 (1871 年) の四つがこれに当る。その中でも真に大地震の名に値するのは No. 16a である。これは正に海南島史上未曾有の大地震であるのみならず、シナ大地震史上に於ても逸す可からざるものであることは前述の通りであるが、その詳細は「地震6巻1號」にのせた「1605 年海南島大地震」と題する拙稿に明かである。今重ねてその全貌を要約し海南島地震史略の最後を飾ることとする。

〔前震〕 記録皆無。

〔発震時〕 萬曆 33 年 5 月 28 日亥時 (1605 年 7 月 13 日 21~23 時)。

〔推定震央〕 瓊山縣東北約 40km の海上。

〔津浪〕 史料皆無

〔最大半径〕 550km (至広西省桂林縣)

〔等震線〕 何れも震央を中心とせる円周であらわされる。VI 度 90km, V 度 150km, IV 度 220km, III 度 340km に当る。

震度 VI に相当する瓊山・臨高・澄邁・文昌・定安等の諸縣に於ては、建造物殆んど全壊、至る処土地の龜裂、水沙の湧出、人畜の死傷が見られ、塩田・田畠の陥没の大規模なるものもあり、瓊山縣に於ては城壁も全壊死者数千に及んだ。

河角教授によればこの地震は $M_k=5.6$, $M=7.7$ と推定される。

余震の明記あるものの中、澄邁縣の「数月」、定安縣の「年を経たり」、広東省本土欽縣の 5 月、新会縣の 1, 2 年というのが著しい。なお表には、余震の記載を省いてただ一つ其中の代表的なものを No. 16b として載せて置いた。これは広東省本土の合浦・海康・茂名・陽江の四縣をも同一震域に含むものである。

番号 No.	中 国 曆 Old Chinese Calendar 年号 年 月 日 時間 nienho* year month day hour	西 洋 新 曆 Gregorian Calendar 年 月 日 時 間 year month day hour	瓊 山* Ch'iungshan 110°21'E. 20°02'N.	臨 高 Linkao 109°43'E. 19°56'N.
1	成 化 4 III 12 四更 Ch'enghua	1468 IV Apr. 14 1~3	○(III*)	
2	" 5 XI	1469 XII Dec. 13		○*
3	" 16 VII 29	~1470 I Jan. 10		
4	嘉 靖 2 VII 1 } * Chiaching 29 IX 29	1480 X Oct. 11	○(II~III*)	
5	" 3 II 17 夜	1523~ VII Aug. 21		
6	" " III 2 丑時	XI Nov. 16		
7	" 5	1524 III Mar. 31 night		
8	萬 曆 3 III	" IV Apr. 15 1~3		
9	Wanli 15	1526		
10	" 22 II 27 午時 (申時)*	~1527		
11	" 22 IX 6	1575 IV Apr. 21		
12	" 23 V 18→*	1576 V May 19		
13	" 26 VI 23 夜	1587		
14	" 31 VII 23 未時	1588		
15	" " VIII 26 辰時	1594 IV Apr. 17 11~13 (15~17)*	⊖	⊖
16a	" 33 V 28 亥時	1594 X Oct. 19	⊖	
16b	" " XI	1595 VI June 25→*		
17	" 34 IV	1598 VII July 25 night		
18	" 41 IX	1603 IX Sep. 27 13~15		
19	崇 禎 8 XII 13 (明)	" " 30 7~9		
20	Ch'ungchên	1605 VI July 13 21~23	⊖(VI)	⊖(VI)
21	順 治 8 I 2 夜	1605 XII Dec. 10	⊖	⊖
22	康 熙 8 II 27 (清)	~1606 I Jan. 8		
23	" " III 6 夜	1606 V May 7		
24	" " XI 15	~1606 VI June 4		
25	" 16 IX 5 夜	1606 X Oct. 14		
26	" 17 III	1613 ~ XI Nov. 12		
27	" 19 IV 25	1636 I Jan. 20		
28	" 20 VII 17	" II Feb. 2		
29	" 22 XI 1			
30	" 28 I 18	1651 II Feb. 21 night		
31	" " III 10	1669 III Mar. 28		
32	" 34 I 1	" IV Apr. 6 night		
33	" 38 III	" XII Dec. 7		
34	" 41 I 30 子時	1677 X Oct. 1 night		
35	" " XII 23	1678 ~ III Mar. 21		
36	" 42 I 22 申時	1678 ~ IV Apr. 20		
37	" " " }	1680 V May 22		
38	" 56 XII	1681 VII Aug. 30		
39	雍 正 3 V	1683 XII Dec. 18		
40	Yungchêng	1689 II Feb. 7		
41	" " VII	" III Mar. 30		
42	乾 隆 9 XI 7	1695 II Feb. 13		
43	" 17 II	1699 III Mar. 31		
44		~1702 IV Apr. 29		
45		1702 II Feb. 25 23~1(26th)		
46		1703 II Feb. 8		
47		" III Mar. 9 15~17)*		
48		" II Feb. 16		
49		~1718 I Jan. ~30		
50		1718 I Jan. ~30		
51		1725 VI June 10		
52		~1725 VII July 9		
53		" VIII Aug. 8		
54		~1744 IX Sep. 6		
55		1744 XII Dec. 10		
56		1752 III Mar. 16		
57		~1752 IV Apr. 13		

[illegible]

番号 No.	中 国 曆 Old Chinese Calendar 年号 年 月 日 時間 <i>nienho</i> * year month day hour	西 洋 新 曆 Glegorian Calendar 年 月 日 時 間 year month day hour	瓊 山* Ch'iungshan 110°21'E. 20°02'N.	臨 高 Linkao 109°43'E 19°56'N
43	〃 〃 Ⅳ	〃 Ⅴ May 14		
44	〃 20 ~ X 1 } *	~1755 Ⅵ June 11		
45	〃 24 ~ X 1 } *	~1756 Ⅰ Jan. 30		
46	〃 38 Ⅲ	1759 Ⅱ Nov. 20		
47	〃 〃 閏Ⅲ 7 夜	~1760 Ⅱ Feb. 16		
48	嘉慶 12	1773 Ⅲ Mar. 23		
49	〃 21 Ⅲ 1	~1778 Ⅳ Apr. 21		
50	道光 2 Ⅳ 17	〃 Ⅳ Apr. 28 night		
51	〃 4 Ⅳ 2	1807 1808		
52	〃 14 Ⅳ	1817 Ⅰ Jan. 17		
53	〃 29	1822 Ⅹ Oct. 1		
54	同治 5 Ⅲ 23	1824 Ⅳ Apr. 30		
55	〃 6	1834 Ⅸ Sep. 3	⊖	
56	〃 10 Ⅴ 9 丑時	~1849 Ⅹ Oct. 2		
57	光緒 14 Ⅱ 19 四更	1849 ~1850		
58	〃 〃 〃 20 夜	1866 Ⅴ May 7		
59	〃 〃 Ⅲ 15 辰時	1867 1868		○*
60	〃 〃 Ⅳ 15 一更	1871 Ⅵ June 26 1~3	⊖	⊖
61	〃 16 閏Ⅱ 20 寅時	1888 Ⅳ Apr. 1 1~3		
62	〃 〃 Ⅳ 15 夜	〃 〃 〃 〃 night		
63	〃 19 Ⅱ 2 夜	〃 〃 〃 25 7~9		
64	民國 2 Ⅳ 26 辰時	1890 Ⅳ Apr. 10 3~5		
		1893 Ⅲ Mar. 19 night		
		1913 Ⅸ Sep. 26 7~9		

年表中の諸記號について

〔1〕 ○, ⊖, (Ⅱ)~(Ⅳ), * 等の記号

○及び⊖印は、同一横線上の左端に記す時に、同一縦欄最上段に記す夫々の土地に於て地震が感ぜられたことを示す。而して⊖印は、同一横線上に記された各地の地震が確実に同一地震に属することを立証し得るものである。○・⊖印に附してカッコ内に記すⅡ~Ⅳの数字は推定震度を現わす。かゝる記入のないものは震度不明であるが、おおむね震度Ⅰ~Ⅱと考えてよく、最大の場合でもⅢを超えることはないと思定される。史料の中に夫々の地震について注意すべき記事を存するものは、*印を附し註記によつてこれを明かにした。かくの如き註記のない場合は、大体原史料にも時と場所以外、単に「地震」の記載しかないものと考えてよい。なおこゝにいう震度階は本邦慣行のものを意味する。

〔2〕 史 料

A, B 以下は夫々次の書に当てられる。なお海南島に関する方志中、民国 22 海南島誌・民国 6 瓊山県志・民国 20 感恩県志の三書には地震史料皆無である。

A: 明實錄, B: 清史稿, C₁: 萬曆瓊州府志, C₂: 道光瓊州府志, D: 咸豐瓊山縣志, E: 光緒臨高縣志, F₁: 嘉慶澄邁縣志, F₂: 光緒澄邁縣志, G: 民國縣志, H: 光緒定安縣志, I: 咸豐文昌縣志, J: 光緒會同縣志, K: 道光萬州志書, Z: 康熙廣東通志

澄 邁 Ch'engmai	儋 県 Tan (hsien)	定 安 Tingan	文 昌 Wench'ang	瓊 東* Ch'ungtung	樂 会 Lohui	萬 寧* Wanning	陵 水 Lingshui	崖 県 Ai (hsien)	史 料 Materials
109°58' E. 19°47' N.	109°16' E. 19°46' N.	110°16' E. 19°42' N.	110°42' E. 19°42' N.	110°26' E. 19°23' N.	110°27' E. 19°13' N.	110°23' E. 18°50' N.	103°56' E. 18°35' N.	109°10' E. 18°24' N.	
⊖	○*	○*	⊖	○*		○		○	B
						○			K
						○			K
						○			K
									J
									H.J
								○	C ₂
						○			KC ₂
									H
									C ₂ D
									H
									G
									E
						⊖			H.E.
									F ₂
									F ₂
									F ₂
									F ₂
									G
									G
									G
									G

註の記載法について

〔1〕 註に引用する史料の年月日

註に史料原典からの引用文を載せる場合、年・月・日・時刻等は、特に必要のある範囲内で記すに止め成る可くこれを省くことにした。それで引用文に時の記載を欠くものも、凡て原典には、表に中国暦で示された時が附加されているものと承知され度い。

〔2〕 註自体の記載例

あとに記す如く、註に No.12—儋県とある場合について云えば、表の左端の番号 12 によつて見出される横線上を右に、最上段儋県に従う縦の欄を真下にたどつて両者の交わる所に問題の註記の箇処 * 印があることを示す。

年表に関する註

最上欄に記載せる地名「瓊山」以下「崖県」に至る 11 の地名は、いずれも海南島に所属する諸県の現行名であるが、特に後記するもの以外は明清時代に於ける歴史的名称でもある。経度・緯度は夫々の県治（県の行政的中心）に於けるものを参考に示したに過ぎない。ここに云う瓊山は瓊山県治であると同時に瓊州府治、つまり海南全島の行政的中心でもあつた。瓊東、萬寧、崖 3 県の歴史的名称は夫々会同県、萬州、崖州である。

No.1—瓊山 上記本文に引用せる明実録、成化4年6月甲辰の上奏文参照。震度Ⅲの推定は、その中に「大震」とあるのに基く。従来私の明かにして来たいくつかの中国の歴史的大地震の震度分布の実例に徴するに、史料中に単に「地震」とあるのではなく「地大震」とある場合は、大体震度Ⅲと推定して甚しい間違はないようである。

No.2—臨高・儋県 両県の地震は、これを別々のものと考えより、11月中に於ける同時の地震、つまり同一地震と推定し得る可能性の方が強いように思われる。併し日や時刻を確め得ないので、○印とせず○印に止めて置いた。なお臨高ではEに「地震。響徹陵谷（ひびき陵谷に徹す）」と記されている。

No.3—瓊山 広西鬱林州地震有声。同日広東瓊山県亦震。屋宇皆搖。

No.4—樂会 Zに「秋。樂会地震。聲響如雷。民謂大軍將至。奔走數日乃定」とあり、C₁・C₂にも似た記事があるが、ともに「年」だけで「秋」の記載を欠く。なお中国曆欄の記載はこの「秋」を月日の移によつて表現したものである。

No.5—定安 C₂に場所を「安定」と記すのは、固より「定安」の誤りである。Hに「地大震」とある。Hが更に何に基くかを確め得ないが、これより古く編纂され或はHの出典を為したかとも想像されるC₁にもC₂にも、等しく「地震」とあるのみで、「大」の一字を欠いている。それでHによつて震度をⅢに推定することはさし控えて置く。

No.6 C₁・C₂に「嘉靖三年三月初二日。儋州・澄邁・崖州・会同・樂会地震。樂会油譚嶺崩十余丈」とある。油譚嶺はC₁樂会県の条によつてはその所在を確め得ない。但しこの記事によつて同県の震度をⅢ位に推定することは可能かも知れぬ。なおF₁に「嘉靖四年三月二日丑時。地震有声。民屋搖動」とあるのは、この地震と別の地震を意味するものではなく、4年は3年の誤りと見る可きものであろう。この推定を助けるのは、前記C₁・C₂の記事に加えJにも「嘉靖三年三月初二日夜地震」とあることによる。

No.7—萬寧 Kに「是年地震三次」とあるので、年内に3回地震があつたことは確かであるが、月日は一切確め得ない。

No.9—定安 地震。空中大響數百里。

No.10 A・Hともに萬曆22年2月27日、E・Kにも同年2月のことと記しているにもかゝらず、独りF₁にのみ萬曆20年2月27日午時と記されている。これはF₁の誤りで、やはり22年とある可きであらう。なおKには「按。是年二月内午時地震。申時又大震。其日未詳」と特に「日」の不明なる由を断つてゐるが、この日が27日と断定されることは、諸史料を対照して明かであらう。殊に上記の如くF₁の年に誤りがあると見れば「午時」の時刻まで全く一致する。なおKには上に見る如く「申時又大震」とあるので、少くとも萬寧県では、午時の外に申時にも地震があつたことは明かであるが、他県に於ける申時の状態は不明である。

No.11 Hには「九月」とあるのみで、日は不明である。Aには瓊山・文昌の地震を「九月辛巳（6日）」と記している。Hにいう定安県の地震も多分6日で、これ等3県の地震を同一地震と見てよいのではないかと思うが、定安のものは○印に止めた。

No.12—儋県 「五月十八日地震。経月不止」とある。5月18日以後1ヶ月以上頻発したものであらう。

No.16a, b—史料 原史料は一々こゝにあげ切れない。この地震については上掲本文並びに「地震6巻1号」所載摘稿「1605年（萬曆33年）海南島大地震」を参照され度い。

No.19・20—文昌 「十二月十三日地震。二十六日再震。声如潮湧。居室搖動。宿鳥驚鳴」とあり。「声如潮湧」以下の句は26日の地震にかゝる句で、これを以て同日の地震の震度を計り得るかの如くであるが、かゝる場合必ずしも26日にのみかゝるとは断定しがたく、13日の地震にかゝるものであるという観方も成り立ち得る。

No.30—陵水 Bには「正月十八日。瓊州・陸川地震。三月十日。又震」とある。陸川は一先ず広西省の陸川県と解す可きであらう。所がC₂には「春正月。瓊山・陵水地震。三月。復震。〔肅志〕」とある。C₂の基く所の肅志とは肅応植によつて乾隆40年に編纂された瓊州府志のことである。今この府志は見

ることを得ないが、場所の関係から考えても、 C_2 の引用は正しいと思われるので、B の「陸川」は正に「陵水」の誤りと解す可きであろう。

No.32—瓊山「瓊州・雷州・全州・柳城地震」とある。瓊州・雷州は夫々府名、雷州府治は広東省雷州半島海康県、全州は州名、州治は広西省北東部の全州 ($110^{\circ}57'E$, $26^{\circ}59'N$)、柳城は広西省中央北部の同名県 ($109^{\circ}12'E$, $24^{\circ}27'N$) を指す。上記の史料によつて、雷州半島を縦につらねる東経 110° の線を東西より挟んで、少くとも北緯 $27^{\circ}\sim 20^{\circ}$ に亘る広い地帯に地震のあつたことを想定し得る。

No.36 C_2 に文昌県志を引いてこれを 43 年のこととしているが、もとの同県志 (I) に記す所は年表の如くであつて、 C_2 の 43 年は 42 年の誤りである。

No.36—文昌—I, No.37—萬寧—K Kには No.37 に示す如く年月の記載のみで、No.36 の如く日や時刻が記されていない。それでこの二つの地震を同一地震とは断定出来ず、表には別箇の如くに記して置いたが、恐らくこの二つは同一地震で、日と時刻を No.36 に一致せしめ得るのではないかと思う。

No.44・45 史料には夫々「冬」とあるのを「10 月初日から 12 月末日まで」に当てたのである

No.48—定安—H, No.48—瓊東—J H には「地震、通瓊皆震」とある。「瓊を通じて皆震う」というのは「海南全島に於て地震が感ぜられた」ということであろう。併し他にこれを援ける有力な史料を一向発見し得ない。同年海南島の地震に関する他の史料としては、僅に J に「地震」とあるのを見出すに過ぎない。H, J ともに年だけで全然月日を記していないので、両史料に云う地震がはたして同一地震であるかどうかはわからない。従つて H に云う所に基いて同年内に海南島全般に亘る地震があつたという断定はちやうちよされる。

No.53—定安—西廂地震」とある。西廂が定安県内の地名であることは間違ないと思われるが、今その所在を詳かにし得ない。

No.54—儋県「地震約五分鐘」とある。地震の継続時間を約 5 分と現わしたことは大変珍しい。19 世紀の後半、僻地の地、儋県あたりでも漸く洋式の時計が用いられるようになったものであろうか。

No.55—臨高 地震。響徹山谷。橈蓋皆敲擊有声。

No.56 H に「地震、自萬州一路歷瓊・定・澄・臨、過海、至廉州。皆一時並震。云々」とある。萬州 (萬寧県) を東端とし、西北方に向つて瓊山・定安・澄邁・臨高の諸県を歴て海を越え広東省の廉州府に至る一帯の地に地震があつたということであろう。廉州府治は合浦県 ($109^{\circ}10'E$, $21^{\circ}38'N$) に当る。同県は萬寧県から北々西の方角に当り、前記の 4 県は正にこの両者を結ぶ線に沿つて配置される。E には年のみで月日の記載がなく「牆壁動搖」とあるが、この臨高県の地震は恐らく H に云う所と同一のものを指すのであろう。

No.57, 58—澄邁 この二つの地震は、中国曆に見られる通り明かに別箇のものである。所が西洋曆に直すと、ともに 4 月 1 日となり、No.57 は「1~3 時」、No.58 は「夜」とあるので、或は両者同一のものと思われるかも知れぬが、No.57 に対しても No.58 と同様「夜」という表現を用いるとすれば、この方は「3 月 31 日夜」と云う可きものであつて、両者の間には一昼夜に近い開きがある。

[附記] 本稿は昭和 26~28 年度科学研究費交付金による研究成果の一部を為すものである。

地震時報

6月～8月の顕著地震

6月28日岐阜県北部の深発地震

6月28日23時43分09秒ころ岐阜県北部に深発地震が起つた。震央は $36^{\circ}1'N$, $137^{\circ}3'E$ で震源の深さは約250kmであつた。震源が深かつたために関東地方、東北地方の一部分および北海道の釧路で異常的に有感であつた。(最大有感距離: 釧路まで980km)。

7月27日三陸沖の地震

7月27日08時30分51秒ころ三陸沖に地震が起つた。震央は $38^{\circ}7'N$, $143^{\circ}3'E$ で、震源の深さは約20kmであつた。この地震は東北地方の一部分で有感であつた。(最大有感距離: 白河まで320km)。

8月25日金華山南東沖の地震

8月25日00時01分19秒ころ金華山南東沖に地震が起つた。震央は $37^{\circ}9'N$, $141^{\circ}9'E$ で、震源の深さは55～60kmであつた。この地震は東北地方の大部分および関東地方の一部分で有感であつた。(最大有感距離: 前橋まで305km)。

8月28日北海道中部の稍深発地震

8月28日07時16分40秒ころ北海道中部に地震が起つた。震央は $43^{\circ}2'N$, $142^{\circ}5'E$ で、震源の深さは150～160kmであつた。この地震は北海道南部および東北地方の一部で有感であつた。(最大有感距離: 福島まで620km)。

●ギリシアの地震

8月12日18時36分ころから本邦各地の地震計に大規模な遠地々震が記録された。本邦の観測によれば、震源地はギリシア方面で、震源時は18時24分ころであつた。またこの地震の前震が11日の12時32分ころに起り本震と同様に本邦各地で記録された。U.S.C.G.S.の報告によれば震源地はギリシアの西岸附近 $38\frac{1}{2}^{\circ}N$, $21^{\circ}E$ で、死傷者多数を含む大きな被害があつたと伝えられる。なお同報告によれば本震の Magnitude は $7\frac{1}{4}$ (Pasadena) (Berkeley) 前震は $6\frac{3}{4}$ (Pasadena) であつた。

阿蘇山 本年4月初旬から活気を呈した阿蘇山中岳第1火口の活動は、その後も依然活潑であつた。

6月—毎日鳴動が聞え、降灰があつた。噴煙は白色、灰白色、灰かつ色、黄かつ色、高さは200～300m、ときには800mであつたが、9～11日には黒色または灰赤かつ色、高さ300～600m、ときには、800mに達し、1日、9日、10日、12日、16日および24日には人頭大～こぶし大の噴石が最高約150mまであげられた。

7月—鳴動と降灰はだいたい毎日観測され、11日～14日、19～25日および29日には人頭大の噴石が最高約150mまであげられ、ことに、19日17時55分の爆発には爆発音が数回にわたつて聞え、噴石の高さは500mにも達し、火口附近では震度Ⅱの有感地震が感じられた。

8月—前月に引き続き連日噴煙(白色または灰白色、高さ200～400m、ときには1000m)、鳴動、降灰がだいたい毎日観測され、3日、5日、9日、13日、30日にはこぶし大～人頭大の噴石が最高約80mまでうちあげられた。

9月—噴煙は高さ約300mに達し、鳴動、降灰は断続的になつたようであり、10日、21日、27日、28日にはこぶし大の噴石が50～60mの高さにうちあげられたが、活動は前月より非常に弱くなつた。

三原山 28年の大噴火以来活動を休止していた三原山は10月5日8時32分から小噴火を始め、同月12日には活動を休止した。噴火地点は内輪山南寄りの昭和26年の噴火の際できた新山(760m)の北側中腹で、火口の大きさは噴火当初は直径約1.5m、7日9時17分の爆発で直径が約6mに拡大された。その後、12日には火口は2箇になり、13日には火口は次第にふさがつて一方の穴は亀裂となつてその跡をとどめ、他の穴はややすりばち状にへこんだ。活動中は毎日噴煙、鳴動、噴石が観測されたが、特に6日、7日の活動は活潑であり、噴石の最大到達範囲は、火口から半径約150mに達した。

(中央気象台地震課)

学 会 記 事

幹 事 会

日時: 1953 年 6 月 19 日 PM 4~5.20. 場所: 中央気象台台長室. 出席者: 和達, 広野, 井上, 村内, 宇佐美, 島津, 安芸, 笠原, 松本, 宮村, 上田. 議 事

1. 庶務報告: 5 月以降図書受付けの報告. 5 月 8 日退会届が出た朝倉氏は 6 月 17 日付復会の手続があつた. 「地震」終戦前のバックナンバー揃の申込み(九大・工・採鉱学教室)と震災予防調査報告の申込み(広島大学・理論物理学研究所)について具体的案を求めた. 以下決定事項

1) 倉庫に入っているので早急に大学と交渉してとりこわしを依頼し日時を決めてもらうこと. その雑誌等の移転先を決めること. そして今後の申込み要求に応じて分譲することとする.

2) 寄贈を受けた図書は「地震」の余白にのせ会員に知らせる.

2. 会計報告: Vol. 6 No. 1 見積書によると少し高すぎるので気象台で調べてみて, もつと安く早く出来るところあれば考慮することとした.

会員中会費未納者について下記のように決定

1) 23 年会費未納者に退会通知を出す. 2) 24, 25 年会費未納者に督促を出し返信なき場合退会とみなす.

3. 浅間問題について外国へ出した郵便料金が一万円以上となつたのでこれについて次のように決めた. 1) 寄附をねがうこと. (気象台の地震学会会員からはすでに 2100 円が寄附された.

2) 地区委員にこれ迄に用いた資金のこと寄附を受けたことその他の様子を知らせて協力を願う.

4. 管区気象台, 測候所の「地震」購読方法についての問題が討議されたが具体的に決定されなかつた.

幹事会 日時: 7 月 20 日(金) 場所: 震研会議室. 出席: 和達, 広野, 宇佐美, 村内, 島津, 安芸, 笠原, 松本, 宮村, 表

1. 浅間山は米軍演習地として使用しないことに 7 月 16 日決定をみたので学会としては委員長の名で関係各学会へは簡単な経過報告にそえてそれらの学会より激励をあたえられたことに対するお礼をの

べる手紙を出す. 会員にも経過報告を送る. 同所に外務省発表の文章もものせる. 外国へも英文でそれらの手紙を出すことに決めた.

2. 秋の学会の日取り大体 10 月下旬, 22, 23, 24 日頃とする講演申込 9 月 15 日締切として会員に通知を出すことにきめた. 会場は東大又は科博

3. 学会がもっている震災予防調査会報告は今回地球物理学教室の前の倉庫にいれることに話がついた. 松本幹事がこれの整理の指揮をして片付ける

4. 毎日学術奨励金には学会として推薦しないこととした.

幹事会 1953 年 9 月 22 日午前 9 時 30~11 時 地震研究所会議室. 出席: 和達, 笠原, 村内, 宇佐美, 金井, 広野, 安芸, 松本, 宮村, 表, 上田.

1. 庶務報告 1) 昭和 28 年度研究成果刊行費の補助金 10 万円 9 月 4 日文部省より受けとつた.

2) 会員移動(入会) 東管でまとめて申込み 24 ヶ所(中 1 ヶ所は Vol. 6 No. 1 のみ) 測候所. 個人申込み 3 名 会計 27 名(退会) 昭和 25 年度よりの未納者(伊藤徳之助, 梶川五良) 昭和 25 年度よりの未納者(明石和彦, 石井栄一, 島田順二, 糸井文左衛門, 井上雄二, 岩崎岩次, 岩間和夫, 緒方維一, 加藤泰夫, 加登幸雄, 喜多豊一, 木暮俊夫, 小林勉, 齊田時太郎, 鮫島輝彦, 白岡久夫, 杉浦一徳, 田中良雄, 田辺貞雄, 辻芳彦, 露木利貞, 出口周作, 土肥守人, 高沢隆次, 永井旺, 久田太郎, 平尾邦雄, 福島田, 牧口盛夫, 松久保毅三, 松沢一郎, 村田秀吉, 棕平広吉, 森安茂雄, 八木芳男, 矢作文彌, 和崎洋二). 個人(西久光) 合計 41 名. 3) 日ソ図書館より協力依頼の件本学会として文献交換は希望し賛助会員としては加入しない事に決定. 4) 学術会議選挙候補推せんについて日本海洋学会より会長日高孝次氏を依頼されたがその決定については秋季地震学会の臨時総会にもちこすことに決定. 5) 島津幹事辞任の件…名古屋大学へ助教授として栄転されるので幹事辞任をみとめることになつた. 編輯幹事後任は編輯幹事がその交渉にあたり, 10 月の幹事会で決定されることになつた. 6) 国会図書館より納本依頼を承認した.

2. 松本幹事より報告 1) 震災予防調査会雑誌

の整理について、イ) 倉庫移転に要した費用 2700 円 (運搬人夫賃)、ロ) 在庫品として 3 部を残す。
ハ) 価格については 10 月幹事会迄に原案を作成することにした (松本幹事作製)

3. 会計報告 (笠原幹事) 現在金約 17 万円。

4. 賛助会員会費徴収を至急にすること。

5. 秋季学会の件 1) 会場…理学部第 2 号館。
2) 日時…10 月 27, 30, 31 日。3) プログラム編成のため 10 月 2 日午前 10 時より臨時幹事会をひらく。

6. 建築物の耐震性能測定の実施に関する陳情書 高橋竜太郎氏より幹事会に提出し承認してほしいとの依頼ありしものについては本学会として承認することに決定した。

臨時幹事会 (案)

日時: 昭和 28 年 10 月 2 日 (金) 午前 10 時～12 時 30 分。場所: 震研会議室。出席者: 井上, 宮村, 宇佐美, 安芸, 松本, 金井, 表, 上田。議題 秋季学術講演プログラム編成及び日程

1. プログラム編成

2. 日程 10 月 29 日午前講演, 午後見学 30 日午前講演午後シンポジウム 31 日午前講演, 午後講演総会夜懇親会。

3. 会場 気象研究所とさめる。会場及び懇親会々場は気象台の会員達が準備をすすめて下さることに決定。

地震 Vol.6 No.1 の別刷 100 部予定の中 50 部は出来てきたが残部 50 部を「地震」をこわしてつくるか否かについて編輯部より相談あり。つくることに決定した。

幹事会 (案)

日時: 昭和 28 年 10 月 20 日 (火) 午後 4 時～5 時 20 分。場所: 震研会議室。出席者: 和達・広野・笠原・金井・松本・末広・表・上田。

議題 (I) 秋季学会における雑件について…1.

会場係は気象台関係の幹事が当る。2. 見学…キャノンへは会員より 100 円徴収してバスを準備する。運研へは未だ申込者が少ないのでなるべく勧誘する。

3. 懇親会々場はもう少し研究する。4. 総会の議題について……1) 学術会議第 4 部研究費の件については和達学術会議員より学術会議の意向につき報告をしてもらう。2) 浅間山問題についての経過報告を行う (表幹事) 浅間山問題についての会計報告を行う (笠原幹事)。3) 学術会議選挙について……

a) 会員の中の候補者を紹介する。b) 他学会から本学会に対し推薦方を依頼してきた方の紹介。c) 幹事会の意向としては上記の a), b) を報告し各会員の自由選択にまかす。4) プライズについては前回時期尚早いと結論を出したばかりであるので今回は議題としない但し次の春の総会には幹事案が出せるよう研究準備する。

(II) 庶務報告 1. 文部省より学会調査カード (和文・英文各 1 通) 来る 10 月末日迄に提出。2) 日本学術会議選挙管理会より候補者一覧表送付された。3. 賛助会員へ会費請求を書面につくり、表幹事より北沢顧問におとどけた。北沢顧問が近日中各賛助会員におとどけ下さる由である。4. 朝日新聞社賞推薦については次期に待つ。5. 気象研究所より会場使用について公文書をもつて承知の回答があった。6. エンデルレ書店よりオランダよりの依頼により Transaction of the Seismological Society of Japan について問い合わせてきた。(表俊一郎)

ニ ュ ー ス

標準強震計委員会記事

標準型の地震計試作の目的で、昭和 26 年度文部省科学試験研究費の補助を得て、同年 5 月標準強震計試作試験研究委員会が組織され、5 月 9 日第 1 回研究委員会会合が開かれて以来、各委員の密接なる協力のもとに、下記の如き各種の研究並びに試作、実験等が行はれて、翌 27 年 4 月一応その試作品が製作されたが、尙その後、強度並びに耐久試験その

他細部に亘る試験及改良が実施されて、本年 3 月始めて、SMAC 型 (Strong Motion Acceleration Committee の略) 強震計第 1 号が完成された。その間の行事

イ. 昭和 26 年度に於ては毎月必ず 1 回以上総計 14 回に亘る研究委員会会合を開き、毎回各委員の研究討議が行はれた。

ロ. 昭和 26 年 9 月 18 日地震研究所談話会に於

て標準強震計試作試験研究班として

標準強震計試作第1報

1. 計画及設計 高橋竜太郎

2. 理論 河角 広

の研究発表が行はれた。

ハ、昭和26年9月21日に強震計試作用のバラックセット第1次試験器を用いて耐震度及性能試験を建築研究所構内にある耐震試験用ブロック構造家屋の2階に据付けて公開実験を行った。

二、昭和28年3月18日にSMAC型強震計の完成品を建築研究所に於て、公開の上同様の実験を行った。

引続いて建築研究所に於て実際に地震の観測が行

はれて居たが7月29日から地震研究所観測室に移して観測が行はれて居る。

尙その後SMAC型強震計の改良型が2台6月26日横浜出帆にて送られたので智利国に於ても近く観測が行はれる筈であり、亦近く大阪駅前の第一相互ビルにも1台据付けられて観測が行はれる筈である。

研究委員名

地震研究所：高橋竜太郎，那須信治，河角 広，

萩原尊礼，金井清

東京大学工学部建築教室：武藤 清

建築研究所：竹山謙三郎

明石製作所：明石和彦

地球物理学研究連絡委員会地震分科からの連絡事項

1954年9月ローマでI.U.G.G.の総会が開られますのでその地震及地球内部構造分科の会議に論文を御提出御希望の方は来る1月末日迄に論文の題目、内容の梗概、大略の頁数を御知らせいただきたいとのことを先に各関係機関を通じて各位に周知方を依頼しましたが、都合で地震分科の会合が1月中旬にひらかれることとなりましたのでなるべく至急1月中旬迄に御知らせ下さい。(題目等通知先、東大地震研究所地震分科幹事表俊一郎)。

編 輯 係 よ り

1953年も終りに近づき、6巻4号は来年に持ちこすことになりました。本年度は、6号出す予定を、4号で終りとし、その次は7巻1号とする積りで居ります。現在手元には、6巻4号、7巻1号の2つを出せるだけの原稿があります。本号には寄書がありませんでしたが、論説と共に、寄書をも、お待ちして居ります。「地震」も、第二輯となつてから、百近い数の論文が発表されました。この辺で、皆様の御便宜のために、総目録をつくり、印刷費の都合がつき次第、お手元にお配りしたいと思つて居ります。

地震學會贊助會員（順序不同）昭和 28 年 8 月 1 日現在

三井不動産株式會社
鹿島建設株式會社
大成建設株式會社
清水建設株式會社
竹中工務店
大林組
織本建築設計計算事務所
茂木建築設計計算事務所
依田建築設計計算事務所
三菱地所株式會社
保坂振動計器製作所
電力中央研究所
明石製作所

東京都中央区日本橋室町 2 の 1
東京都中央区横町 2 の 3
東京都中央区銀座 3 の 4
東京都中央区室町 2 の 1
（東京支店）千代田區大手町 1 の 6
（東京支店）千代田區丸ノ内 1 の 2
東京都中央区日本橋蛸殻町 3 の 2
東京都文京區大塚町 33
東京都千代田區麹町 1 の 7
東京都千代田區丸ノ内 2 丁目 2 の 211
東京都文京區小石川柳町 22
東京都北多摩郡狹江町岩戸 1229
東京都品川區東品川 5 の 1

「地震」投稿規定

1. 原稿は 400 字詰原稿用紙に横書に認め、假名は平仮名、外國語は片仮名又は原語を用いること。
2. 句讀點、. 等を明瞭に記入すること。
3. 地名、人名の讀みにくいものには振仮名を付けること。
4. 數字は漢字を用いず、アラビア數字を用いること。
5. 引用文献等は最後に本文中の引用箇所の番號を附して記載のこと。
6. 挿圖は墨で明瞭に書き、刷上り寸法又は縮率を必ず記入すること。圖の中の文字は刷上り 1mm 以下にならぬこと。原稿に赤字で圖の挿入場所を指定すること。
7. 原稿には必ず歐文題目と歐文要約（大體 300 語以内）を付けること。
8. 論文の長さは当分の間、なるべく刷上り 6 頁（400 字詰原稿用紙約 10 枚）以内のこと。
9. 別刷は 100 部を贈呈し、それ以上は著者の負担（用紙を含む）とする。
10. 校正是初校以後は編輯係に一任のこと。
11. 特殊な図版（折込、色刷等）は当分の間著者が費用を負担すること。
12. 挿圖、表等の説明には歐文を用いること。
13. 數式、特に本文中の式はなるべく一行以上を占領せざる形（たとえば k/μ , $\sin\{(s\pi x/l) - (s\pi ct/l)\}$ のごとく）にかくこと。
14. 寄書は刷上り 1 頁未滿（400 字詰原稿用紙約 2 枚迄）とし、歐文題目をつけること。寄書の圖面は刷上り横 6 cm 又は 12 cm にするようにかくこと。

昭和 28 年 12 月 20 日 印刷
昭和 28 年 12 月 25 日 發行

第 2 輯 第 6 卷 第 3 號

東京大學理學部地球物理学教室内

編輯發行
兼印刷者

地 震 学 会

代 表 者 和 達 清 夫

印 刷 所

株式会社 双 文 社

発 行 所

東京大學理學部
地球物理学教室内

地 震 学 会

(振替東京 11918 番)

Z I S I N

JOURNAL OF THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN

Vol. 6, No. 3

SECOND SERIES

December 1953

CONTENTS

ARTICLES

"SMAC" Strong Motion Accelerometer.....	Ryutaro TAKAHASHI....	1
Observations of Seismic Waves from the First Great Explosion at Kamaisi Mine...The Research Group for Explosion Seismology, Japan....		6
On the Relations between Gravity and Subterranean Structure (I.)		
	Motohiko KATO....	14
The Short History of the Earthquakes in Hainan Island and their Chronological Table	Mitsuo KEIMATSU....	31
SEISMOLOGICAL NOTES		42
NEWS.....		44

Published
by
the Seismological Society of Japan,
c/o Geophysical Institute, Faculty of Science, Tokyo University,
Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan.